ELETTROTERAPIA

Appunti del corso di Bioingegneria
Corso di Laurea Specialistica in

"Scienze delle Attività Motorie Preventive e Adattative"

Università degli studi di Napoli "Parthenope"

Anno accademico 2006/2007

A cura di *Stefania Romeo, Marcello Bracale e Riccardo Tranfaglia*

Indice

Indice 2

Introduzione 5

Capitolo 1 9

Caratteristiche strutturali e funzionali delle cellule eccitabili 9

1.1 Struttura e funzione della cellula nervosa 10
1.2 Potenziale di riposo e potenziale d'azione 12
1.2.1 Caratteristiche del potenziale d'azione 13
1.2.2 Propagazione del potenziale d'azione lungo la fibra nervosa 14
1.3 Le fibre muscolari 15
1.3.1 Funzione e struttura 16
1.4 La contrazione muscolare 17
1.4.1 L'unità motoria 18
1.4.2 Lo scivolamento dei miofilamenti 18
1.5 Conduzione dell'impulso: approccio bioingegneristico 20
1.5.1 La conduzione elettrica 21
1.5.2 La curva intensità-durata 21

Capitolo 2 24

L'elettroterapia 24

2.1 Cenni storici 25
2.2 Classificazione delle correnti 26
2.2.1 Effetti biologici delle correnti 26
2.2.2 Correnti Continue e Correnti Variabili 27
2.3 Corrente Continua 29
2.3.1 Galvanizzazione 30
2.3.2 Ionoforesi 32
2.3.3 Iontoforesi 34
2.4 Correnti Diadinamiche 35
2.4.1 Correnti Diadinamiche Monofase (MF) 35
2.4.2 Correnti Diadinamiche Difase (DF) 37
2.4.3 Corrente corto periodo (CP) 39

2.4.4 Corrente lungo periodo (LP) 40
2.4.5 Diadinamiche automatiche 41
2.4.6 Modalità di applicazione 41
2.5 TENS: "Elettrostimolazione nervosa transcutanea" 42
2.5.1 Principi fisici ed effetti fisiologici 43
2.5.2 Diminuzione del dolore: Teoria del Gate control 44
2.5.3 Principali caratteristiche fisiche 47
2.5.4 Scelta dei punti di stimolazione 49
2.5.5 Effetti collaterali e controindicazioni 50
2.6 Correnti interferenziali 51
2.7 Elettroterapia galvanica ad alto voltaggio 54
2.7.1 Modalità di applicazione 55
2.8 Elettroterapia di stimolazione muscolare 56
2.9 Correnti di stimolazione del muscolo normoinnervato 59
2.9.1 Impulso rettangolare 59
2.9.2 Corrente di Kotz 60
2.9.3 Corrente faradica 61
2.10 Correnti Esponenziali: stimolazione del muscolo denervato 63
2.11 Microcorrenti (MENS) 64
2.11.1 Principi delle correnti MENS 65
2.11.2 "Injury current "e le funzioni delle MENS 65
2.11.3 MENS e il meccanismo di riduzione del dolore 67
2.11.4 Applicazioni delle MENS 68
2.11.5 Effetti collaterali e controindicazioni 69

Capitolo 3 74

Apparecchiature per elettroterapia 74

3.1 Moduli fondamentali di un sistema per elettroterapia 75
3.2 Gli elettrodi 77
3.2 Funzionalità e caratteristiche tecnologiche 80
3.2.1 Impostazione di una seduta di lavoro 82
3.4 Sistemi per elettrodiagnosi 83
3.5 Stimolatori muscolari, neuromuscolari e antalgici 84
3.6 Sicurezza e manutenzione 87
3.6.1 Norme Giuridiche e Direttive Comunitarie 89
3.6.2 Classificazione degli apparecchi per elettroterapia 90
3.6.3 Manutenzione preventiva 91

Capitolo 4 93

Horizontal® Therapy 93

4.1 Una nuova classificazione delle correnti 94
4.2 Terapia "verticale" e terapia "orizzontale" 96
4.3 Effetti biologici e terapeutici dell'Horizontal® Therapy 99
4.3.1 Classificazione degli effetti terapeutici in base alla frequenza elettrica di stimolazione 101
4.4 Funzionalità speciali delle apparecchiature per Horizontal® Therapy 102
4.4.1 "SCAN" Scansione orizzontale 103
4.4.2 Funzione DIASCAN (Scansione Diagonale) 105
4.4.3 Ionoforesi non polare 106
4.4.4 Blocco della conduzione nervosa 109
4.4.5 Trattamento strumentale pre-manipolativo 110
4.5 Horizontal® Therapy: l'apparecchiatura 110
4.5.1 Dati tecnici 111
4.6 Tollerabilità, precauzioni e norme di sicurezza 113
4.6.1 Tollerabilità delle correnti alternate 113
4.6.2 Controindicazioni 114

Capitolo 5 116

Confronto tra Horizontal® Therapy ed elettroterapia tradizionale 116

5.1 Fasi del processo di terapia fisica 117
5.2 Patologie muscolo-scheletriche 119
5.3 La gonartrosi: il trattamento con terapia Horizontal® Therapy. Studio multicentrico. 121
5.4 Valutazione della ripresa funzionale e dell'andamento del dolore in pazienti sottoposti ad intervento di protesi totale di ginocchio e successivi cicli di elettroanalgesia 125
5.5 L'Horizontal® Therapy nel trattamento del dolore lombare da frattura osteoporotica recente 129
5.6 Analisi e valutazione dei dati raccolti 132
5.6 Conclusioni 136

Bibliografia 139

Introduzione

Secondo la definizione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) per "*Riabilitazione*" si intende quell' "*insieme di interventi che mirano allo sviluppo di una persona al suo più alto potenziale sotto il profilo fisico, psicologico, sociale, occupazionale ed educativo, in relazione al suo deficit fisiologico o anatomico ed all'ambiente".*

Il percorso riabilitativo di un paziente, qualunque sia la patologia trattata, è sempre un processo articolato che comporta la collaborazione di varie figure professionali con diverse competenze: dal medico di base allo specialista, dal fisioterapista al paziente e, molto spesso, alla famiglia del paziente, per una interazione dinamica che ha come obiettivo il miglioramento della qualità della vita del soggetto.

Le "*Linee guida per le attività di riabilitazione in Regione Campania*" individuano diversi stadi all'interno del percorso riabilitativo.

"*Il primo stadio, in senso cronologico, ha luogo al momento stesso in cui si verifica la menomazione e, pertanto, o in fase acuta di malattia, o all'accertamento di una malattia congenita o cronica.*

Il secondo stadio della riabilitazione prende avvio, in funzione delle disabilità che residuano, non appena superata la fase acuta della malattia; concerne la fase post-acuta e riguarda sia le strutture ospedaliere che quelle extraospedaliere di riabilitazione, indipendentemente dal loro stato giuridico (pubblico o privato).

Il terzo stadio richiede interventi sanitari meno sistematici (in quanto afferenti ad una condizione di disabilità e di restrizione della partecipazione) e, pertanto,

praticabili anche in termini di trattamento ambulatoriale, finalizzati al mantenimento delle autonomie funzionali conseguite dal soggetto ed alla prevenzione delle possibili ulteriori involuzioni."[1]

L'*elettroterapia* rientra nel secondo stadio del processo riabilitativo. Essa è parte integrante di quella branca della Medicina Fisica e Riabilitativa che è la *terapia fisica strumentale*, intesa come la somministrazione di energie fisiche a scopo terapeutico.

L'elettroterapia interviene nella fase post-acuta della patologia o del trauma subito dal paziente con la somministrazione, nei modi e nei tempi specifici, di correnti con opportune caratteristiche fisiche (intensità, durata, frequenza, forma d'onda, direzione e modulazione) che vengono applicate al paziente tramite l'uso di elettrodi opportunamente posizionati. La terapia elettrica è in genere affiancata da altre forme di terapia fisica strumentale (ad esempio ultrasuoni, magnetoterapia), da sedute di massofisioterapia (esercizi, mobilizzazione attiva e passiva, ecc.), o da terapia farmacologia, nell'ambito del programma riabilitativo individuato dal fisiatra ed applicato da fisioterapisti ed altri operatori sanitari all'interno dei centri di riabilitazione pubblici o privati.

Nel presente lavoro, dopo aver illustrato le basi fondamentali dell'elettrostimolazione (in termini di caratteristiche strutturali e funzionali delle cellule eccitabili), verranno passate in rassegna le principali tipologie di correnti utilizzate nell'elettromedicina, con le relative caratteristiche fisiche e terapeutiche, e saranno quindi presentate le principali funzionalità delle apparecchiature per elettroterapia, con le relative norme di sicurezza e prevenzione.

Si passerà, quindi, ad analizzare alcune applicazioni cliniche dell'elettroterapia nell'ambito della riabilitazione delle patologie muscolo-scheletriche. Con tale espressione si intende un complesso di disturbi e patologie a carico dei sistemi

ed apparati osteoarticolare, muscolo-tendineo, nervoso e vascolare, che possono essere causati e/o aggravati da sovraccarico biomeccanico lavorativo delle zone colpite.

Le patologie dell'apparato muscolo-scheletrico sono la causa più nota e più comune di malattie croniche ad alto potenziale di disabilità ed handicap. Le patologie articolari, la lombalgia, l'osteoporosi e i traumi degli arti dovuti a incidenti comportano un enorme impatto sull'individuo, sulla società e sui sistemi di assistenza sanitaria e sociale.

Secondo alcuni dati forniti dal **Centro Nazionale di Epidemiologia** dell'**Istituto Superiore di Sanità** si rileva che:

- il mal di schiena è la seconda causa di assenza di lavoro;
- nel 2010 il 25% della spesa sanitaria nei paesi in via di sviluppo sarà speso per cure dovute a traumi;
- il numero di fratture dovute all'osteoporosi è almeno raddoppiato nell'ultimo decennio;
- le patologie articolari riguardano la metà di tutte le condizioni croniche che affliggono gli ultrasessantacinquenni. [37]

Si tratta, evidentemente, di patologie croniche, che quindi influenzano negativamente non solo lo stato fisico del paziente, ma anche le sue condizioni socio-lavorative, e, in generale, la qualità della vita.

Nella parte finale di questo lavoro verrà analizzata l'applicazione dell'elettroterapia ad alcune patologie osteoarticolari. In particolare, verrà confrontato l'impatto terapeutico delle tecniche tradizionali, con quello ottenuto tramite l'uso di una tecnologia di recente invenzione: l'Horizontal® Therapy. Si tratta di un sistema che, sfruttando l'uso di correnti alternate a media frequenza (4-12kHz), consente di indurre effetti sia bioelettrici (generazione di potenziali

d'azione) che biochimici (movimento e scuotimento delle cellule) nel tessuto cellulare, mantenendo fissa l'intensità di corrente al variare della frequenza. In tal modo è possibile indurre simultaneamente, nel paziente, differenti effetti terapeutici, che, invece, con le tecniche tradizionali verrebbero raggiunti singolarmente con trattamenti diversi.

Verranno riportati tre studi effettuati per valutare l'efficacia terapeutica dell' Horizontal® Therapy, rispetto ad alcune forme di elettroterapia tradizionale, nel trattamento della sintomatologia algica dovuta, rispettivamente, ad una patologia osteoarticolare (la gonartrosi), ai postumi di un intervento di protesizzazione al ginocchio, e, infine, ad un trauma di origine osteoporotica.

Il confronto ha l'obiettivo di evidenziarne le differenze ed, eventualmente, individuare dei vantaggi nei trattamenti basati sull'uso dell'Horizontal® Therapy rispetto ai trattamenti tradizionali di elettroterapia.

Capitolo 1

Caratteristiche strutturali e funzionali delle cellule eccitabili

Una cellula eccitabile reagisce ad uno stimolo adeguato con una variazione delle proprietà di membrana. Esistono due tipi di cellule eccitabili, le *cellule nervose*, che trasmettono gli impulsi e che possono cambiarli all'interno dell'aggregato cellulare, e le *cellule muscolari*, che si contraggono autonomamente o in seguito ad un'opportuna stimolazione.

1.1 Struttura e funzione della cellula nervosa

Il neurone rappresenta l'*unità strutturale e funzionale del sistema nervoso*. Un tipico neurone (motorio) possiede un corpo cellulare (*pirenoforo*), *neurofibrille, neurotubuli* e, come la maggior parte delle altre cellule, un nucleo, mitocondri ed altri organuli cellulari. Il neurone è provvisto di due prolungamenti cellulari: i *dendriti* e l'*assone* (*neurite*). I dendriti formano di regola numerose ramificazioni che raccolgono i segnali afferenti (di eccitazione e di inibizione) provenienti da altri neuroni e che generano attraverso la membrana cellulare del pirenoforo una *somma dei segnali*. L'assone, che si origina in corrispondenza del cono di emergenza del pirenoforo, ha il compito di trasmettere il segnale nervoso *efferente* ad altri neuroni o agli organi *effettori* (cellule muscolari o ghiandolari), spesso situati a notevole distanza. Se, a livello del cono di emergenza, la somma dei segnali supera un certo valore di soglia, allora si genera un potenziale d'azione che si propaga lungo l'assone fino ai *bottoni sinaptici*.

La membrana plasmatica del pirenoforo continua lungo l'assone come assolemma e risulta circondata nel SNC da oligidendrociti, e nel *sistema nervoso periferico* dalle cellule di Shwann. In alcuni neuroni le cellule di Shwann formano numerosi doppi strati fosfolipidici concentrici intorno all'assone, il cosiddetto strato mielinico**,** che funge da isolante per i flussi ionici e

risulta interrotto lungo l'assone, circa ogni 1.5mm, da un cosiddetto nodo di Ranvier (Fig. 1.1.1)**.** Le fibre nervose mieliniche sono caratterizzate da una maggiore velocità di propagazione dell'impulso rispetto alle fibre nervose amieliniche. La velocità di propagazione aumenta inoltre con il diametro della fibra nervosa.

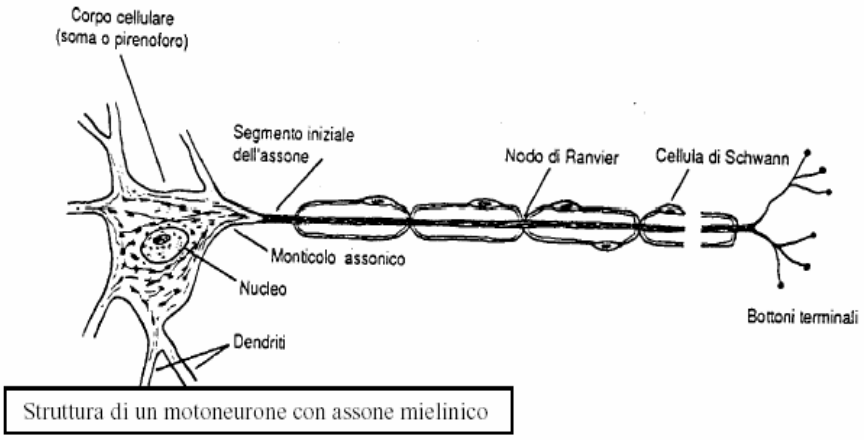


Fig. 1.1.1 Struttura di un motoneurone con assone mielinico

La sinapsi rappresenta la zona di contatto tra l'assone di una cellula nervosa e un effettore o un altro neurone. Nei mammiferi, in corrispondenza della sinapsi, avviene una trasmissione chimica e non elettrica dell'informazione. In seguito all'arrivo del segnale elettrico, a livello della membrana presinaptica, vengono liberate vescicole contenenti un neurotrasmettitore**.** Questo diffonde attraverso la fessura sinaptica , fino alla membrana postsinaptica, dove genera nuovamente cambiamenti elettrici della membrana. [2]

1.2 Potenziale di riposo e potenziale d'azione

Nelle cellule vive la membrana possiede un potenziale elettrico E_m, che nelle fibre muscolari e nervose a riposo viene definito *potenziale di membrana a riposo*. Tale potenziale varia, a seconda del tipo cellulare, tra -50 e -100mV (versante interno della cellula carico negativamente). Il potenziale di riposo si origina a causa della distribuzione sbilanciata degli ioni tra liquido intracellulare e liquido extracellulare, mantenuta tale dall'azione della pompa Na^+-K^+-ATPasi (pompa sodio-potassio), che spinge gli ioni Na^+ fuori dalla cellula e gli ioni K^+ all'interno, e dalla permeabilità selettiva della membrana agli ioni presenti all'interno e all'esterno della cellula.

Tutte le cellule vive sono caratterizzate da un potenziale di membrana a riposo, ma soltanto quelle eccitabili (fibre nervose e muscolari) possiedono la capacità di variare notevolmente la conduttanza della membrana per gli ioni in seguito all'arrivo di un determinato stimolo. Ciò è alla base del *potenziale d'azione*. [2]

Il potenziale d'azione rappresenta la risposta della cellula ad uno stimolo esterno. Uno stimolo di intensità e durata opportune induce nella cellula delle variazioni del potenziale di membrana; se, in seguito a tali variazioni, il potenziale di riposo si porta al di sopra di un certo *valore soglia*, si innesca nella cellula una risposta, il potenziale d'azione, che si propaga a velocità praticamente costante e con un andamento sempre uguale a se stessa ed indipendente dallo stimolo che lo ha generato.

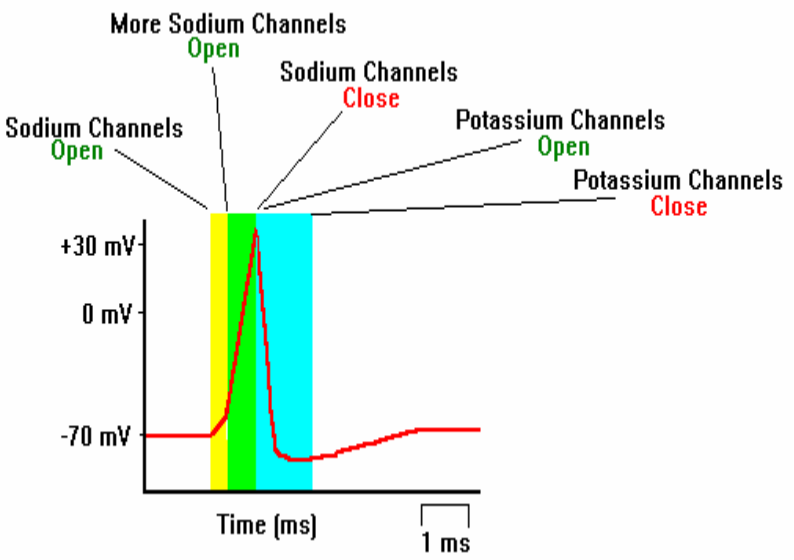


Fig. 1.2.1 Forma d'onda del potenziale d'azione

La forma dei potenziali d'azione varia notevolmente nelle diverse cellule, tuttavia, essa è sempre caratterizzata da una prima fase di depolarizzazione molto rapida (deflessione verso l'alto) e da una ripolarizzzione più lenta, fino al potenziale di riposo costante. Un'altra caratteristica è l'invertirsi transitorio della polarità del potenziale d'azione.

1.2.1 Caratteristiche del potenziale d'azione

Non tutti gli stimoli fisiologici e sperimentali producono potenziali d'azione propagati, ma soltanto quegli stimoli che hanno un'intensità superiore ad un certo valore minimo ed una durata sufficiente. Questo fenomeno è detto *legge del tutto-o-nulla.* L'intensità minima necessaria di uno stimolo viene chiamata "*soglia*". Uno stimolo inferiore all'intensità soglia viene detto "sotto soglia" o "subliminale"; uno superiore è detto "sopra soglia" o "sopraliminale"

In condizioni adatte due o più stimoli, ognuno singolarmente sotto soglia, si possono combinare per provocare l'eccitazione. Questo fenomeno si chiama "*sommazione*". Nel sistema nervoso periferico il tipo di sommazione più comune è quella *temporale*, che ha luogo quando due stimoli subliminali si susseguono a breve intervallo. La risposta locale depolarizzante dovuta al secondo stimolo si aggiunge alla risposta depolarizzante residua dovuta al primo stimolo, e la depolarizzazione netta della membrana che ne risulta diventa superiore alla soglia, provocando così l'eccitazione. Un secondo tipo di sommazione, di grande importanza nella funzione integrativa nel sistema nervoso centrale, è quella *spaziale*, quando due stimoli sottosoglia avvengono contemporaneamente, ma in due diversi punti, nel neurone.

Durante il periodo in cui una membrana dà origine ad un potenziale d'azione in risposta ad uno stimolo sopraliminale, la capacità della membrana a rispondere ad un secondo stimolo di qualsiasi tipo è notevolmente modificata. Durante la parte iniziale dell'impulso la membrana non può rispondere affatto allo stimolo anche se molto forte; questo intervallo viene chiamato *periodo refrattario assoluto*. Dopo tale periodo si può ottenere un potenziale d'azione per effetto di stimoli molto forti e poi gradualmente con stimoli d'ampiezza progressivamente inferiore. Questo intervallo viene chiamato *periodo refrattario relativo.* [3]

1.2.2 Propagazione del potenziale d'azione lungo la fibra nervosa

All'inizio del potenziale d'azione si verifica un breve afflusso di ioni Na^+ all'interno della fibra. La membrana cellulare, inizialmente carica negativamente in corrispondenza del suo versante interno, manifesta una carica opposta (adesso l'interno varia tra +20 e +30mV), cosicché si genera una differenza di carica

rispetto alle porzioni adiacenti non ancora eccitate (interno da -70 a -90mV). Ciò provoca un trasferimento elettrotonico passivo di cariche dalle porzioni adiacenti, generando in tali zone una depolarizzazione. Se in questo modo viene raggiunto il potenziale di soglia, si origina un nuovo potenziale di azione, mentre quello originatosi nella porzione precedente si esaurisce.

La progressiva generazione di potenziali di azione nella porzione della fibra di volta in volta più prossima rigenera sempre il segnale, ma richiede tempo: nelle fibre amieliniche, caratterizzate da questo tipo di propagazione, la velocità di conduzione è relativamente bassa e corrispondente a circa 1m/s. Una velocità molto più alta (nell'uomo fino a 90m/s) si osserva nelle fibre nervose mieliniche. Dato che a livello degli *internodi* queste fibre risultano isolate dall'ambiente circostante dalla guaina mielinica, una depolarizzazione sufficiente per generare un potenziale d'azione può avvenire per distanze maggiori (circa 1.5mm), ovvero in corrispondenza del successivo nodo di Ranvier, dove la fibra è priva di mielina ma ricca di canali per gli ioni Na^+. In questo senso il potenziale d'azione si propaga in modo saltatorio da un nodo a quello successivo. [2]

La propagazione dello stimolo da una cellula all'altra avviene tramite le sinapsi. In questa zona di contatto chimico tra due cellule, il potenziale d'azione, proveniente dalla cellula a monte, provoca la liberazione di un mediatore chimico, l'acetilcolina, che agisce sulla membrana della cellula posta a valle modificandone la permeabilità, con conseguenti variazioni del potenziale di membrana.

1.3 Le fibre muscolari

1.3.1 Funzione e struttura

La funzione del muscolo è quella di creare una forza per stabilizzare o per muovere un'articolazione. La forza che il muscolo produce attraverso la contrazione dipende da diversi fattori, ma è comunque direttamene proporzionale alla sezione trasversa del muscolo stesso.

La muscolatura è costituita da cellule capaci di accorciarsi in seguito a determinati stimoli. La *muscolatura striata* permette all'organismo di effettuare spostamenti nello spazio (locomozione) e serve al trasporto dei gas respiratori, la *muscolatura cardiaca* serve per la circolazione sanguigna, mentre la *muscolatura liscia* provvede alla motilità di determinati organi interni e dei vasi ematici.

Questi tipi di tessuto muscolare si distinguono per numerose caratteristiche funzionali di notevole importanza.

Nell'ambito della muscolatura striata, ciascun muscolo è formato da cellule cilindriche allungate, le *fibre muscolari serate.* Ogni fibra è circondata da un sottile strato di tessuto connettivo, l'*endomisio,* e le singole fibre sono poi riunite in fasci da uno strato più spesso, sempre di natura connettivale, il *perimisio*. L'intero muscolo è poi ancora circondato dall'epimisio.

Il diametro della fibra varia da 20 a circa 100 μm e la sua lunghezza da pochi millimetri a più di 10cm.

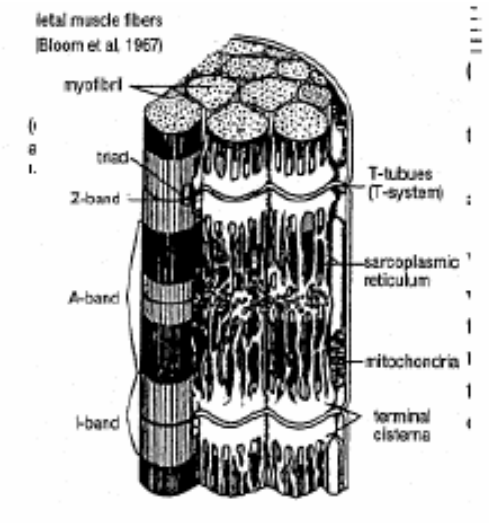


Fig. 1.2.1 Le fibre muscolari

La miofibrilla è un sottilissimo cilindro del diametro di 1-3μm. La striatura caratteristica del muscolo è dovuta alla regolare alternanza nelle miofibrille di dischi scuri e anisotropi e di dischi chiari isotropi. Il segmento di miofibrilla comprendente una banda scura e due mezze bande chiare è detto sarcomero e rappresenta l'unità contrattile del muscolo scheletrico. Il sarcomero è costituito da fasci di filamenti, regolarmente intercalati tra loro, i *miofilamenti*. Essi si distinguono, in base al loro spessore, in filamenti spessi e sottili; sono formati ciascuno dall'intreccio di diverse centinaia di molecole di *miosina* avente una lunghezza di 1200 Å.

I filamenti, formati da actina ed altre molecole, hanno una lunghezza di 1 μm e diametro di 55 Å. [3]

1.4 La contrazione muscolare

1.4.1 L'unità motoria

I muscoli scheletrici sono innervati da grosse fibre nervose, le cui origini sono i ***motoneuroni α,*** situati nelle corna anteriori del midollo spinale. Tali nervi di moto si portano al muscolo tramite i loro prolungamenti assonali (fibra nervosa) le cui ramificazioni terminali prendono ciascuna contatto con una singola fibra muscolare.

L'unità funzionale del muscolo è l'*unità motoria (UM)*, la quale viene definita come l'insieme del motoneurone e delle fibre muscolari che esso innerva. Le fibre muscolari di una unità motoria hanno nel muscolo una disposizione casuale, non contigua, sono cioè frammiste a mosaico con fibre muscolari appartenenti ad altre unità motorie. Il punto di innesto o terminazione della fibra nervosa motrice è detto *placca motrice o sinapsi neuromuscolare*.

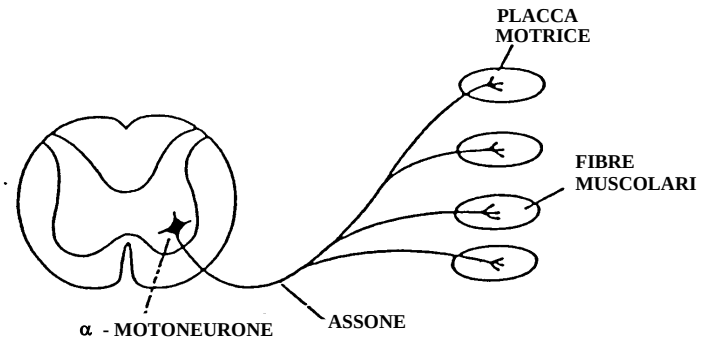


Fig. 1.4.1.L'unità funzionale del muscolo, l'unità motoria

1.4.2 Lo scivolamento dei miofilamenti

La meccanica della contrazione muscolare diviene più chiara se si comprende bene la successione nel tempo delle varie fasi che la caratterizzano.

La stimolazione del nervo motorio, seguita da un periodo latente di circa 2ms prima che inizi la depolarizzazione del sarcolemma, viene trasmessa alla fibra muscolare a livello della placca motrice.

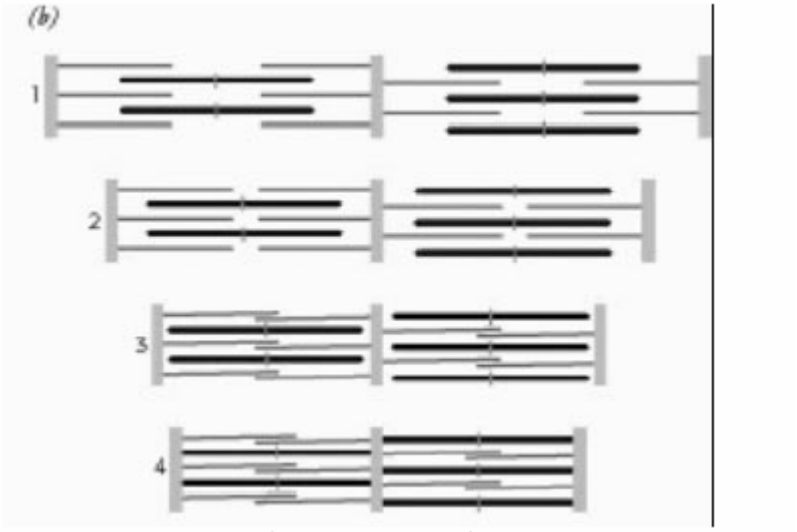


Fig. 1.4.2 Schematizzazione: l'effetto dei ripetuti scivolamenti, conseguenti al ciclico attaccarsi e distaccarsi dei ponti trasversali di astina e di miosina è il completo accorciamento del sarcomero.

Lo stimolo nervoso, arrivato alla parte terminale presinaptica del nervo, libera quanti di acitelcolina (ACH) che si diffondono attraverso lo spazio sinaptico. Da qui la depolarizzazione si propaga lungo tutta la fibra muscolare e dà origine alla risposta contrattile. Dopo la depolarizzazione il sarcolemma si ripolarizza gradualmente tornando alla situazione di riposo in 5-10ms, molto prima che sia raggiunto il picco di tensione della contrazione muscolare.

L'accorciamento della fibra muscolare con generazione di forza contrattile è il risultato di uno scivolamento tra loro dei due sets di filamenti di ciascuna metà del sarcomero. Lo scivolamento avviene per un processo ciclico: durante la

contrazione ciascun ponte trasversale di miosina si attacca alle molecole di astina del filamento sottile adiacente, esercita forza fino a quando si distacca, dopo aver tirato un po' il filamento sottile verso il centro del sarcomero; inizia, quindi, un nuovo ciclo, in cui esso si riattacca più oltre lungo il filamento sottile. L'effetto di questi scivolamenti ripetuti conseguenti al ciclico attaccarsi e distaccarsi dei ponti trasversali di actina e di miosina è il completo accorciamento del sarcomero. [3]

1.5 Conduzione dell'impulso: approccio bioingegneristico

La membrana cellulare si comporta elettricamente come se fosse una resistenza in parallelo ad una capacità.

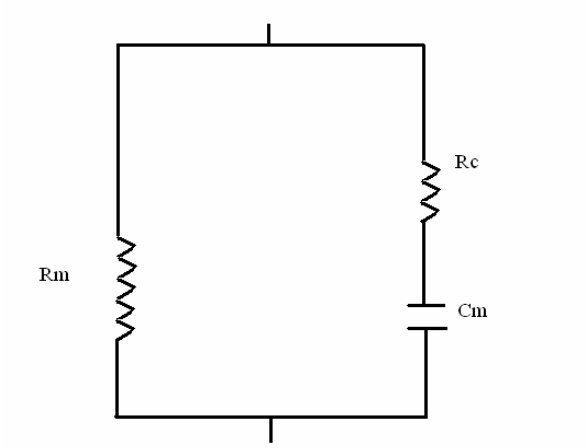


Fig. 1.5.1 Circuito equivalente di una membrana eccitabile, indicante oltre alla principale resistenza di membrana R_m, una resistenza numericamente più piccola, R_c, in serie con elementi capacitivi C_m.

Durante il potenziale d'azione vi è una variazione di uno o più dei parametri della membrana: R_m, R_c, C_m.
Da alcuni studi sull'impedenza, si deduce che la struttura fondamentale della membrana indicata dalla capacità rimane intatta durante l'attività, mentre aumenta notevolmente lo spostamento ionico o la concentrazione delle cariche che attraversano la membrana.

1.5.1 La conduzione elettrica

Le fibre nervose e muscolari, a parte le diverse funzioni, hanno alcuni importanti aspetti in comune. Sono, cioè, strutture allungate, capaci di far propagare impulsi di tipo tutto-niente sull'intera lunghezza.
Nel nervo questo meccanismo serve allo scopo di trasmettere rapidamente segnali dai punti più disparati, mentre nelle fibre muscolari dello scheletro gli impulsi elettrici sono precursori della contrazione.
Lo studio della propagazione può essere affrontato facendo ricorso ad una configurazione elettrica tipo cavo-conduttore. Bisogna però dire che è ben diversa la condizione di propagazione (e quindi le relative equazioni che governano tale propagazione) se si è al di sotto o alle condizioni di soglia per cui si ha il potenziale d'azione. [3]

1.5.2 La curva intensità-durata

L'eccitazione di una fibra nervosa o muscolare dipende sia dall'ampiezza che dalla durata dello stimolo.

Entrambi questi fattori devono essere considerati; infatti è il loro rapporto (intensità-durata) ad essere determinante nell'eccitazione del tessuto. Tale rapporto inoltre non è costante per tutti i gruppi muscolari, ma varia in funzione dei distretti corporei in cui i muscoli si trovano.

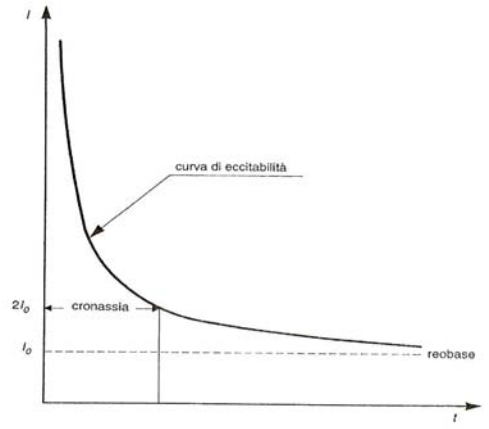


Fig. 1.5.5 Curva intensità-durata

L'attivazione è possibile con un impulso di durata ridotta solo se la sua ampiezza è aumentata e viceversa. Se la durata T dell'impulso permette di avere una differenza di potenziale Ed (differenza tra la soglia ed il potenziale di riposo) allora si ha l'eccitazione.

Solo quegli stimoli uguali o superiori al valore di soglia provocheranno il trasferimento dell'informazione, intesa come la propagazione del potenziale d'azione per una distanza rilevante lungo la fibra stessa, senza variazione della forma d'onda e ad una velocità praticamente costante (variabile tra 40-70 m/s per le fibre nervose, 1.3-4.7 m/s per le fibre muscolari).

La corrente di stimolazione minima che rende possibile l'attivazione si ha quando la durata T dello stimolo tende all'infinito (stimolazione a corrente continua): questo valore è individuato come *corrente di reobase***.** La durata di uno stimolo, la cui ampiezza sia doppia del valore di reobase, è detta *cronassia*. Il tempo di cronassia è dato da:

$$T_c = 0.69 r_m C_m$$

dove il prodotto r_mC_m rappresenta la costante di tempo della membrana, r_m la sua resistenza e C_m la sua capacità (resistività = 1000Ω/cm^2, capacità specifica = 2-5μF/cm^2). [3]

Capitolo 2

L'elettroterapia

2.1 Cenni storici

Si pensa che l'elettroterapia sia usata da almeno 2500 anni. Sembra che nel 500 a.C. circa, il fisico greco Aetus usasse elettricità biologica animale (circa 70V), generata da una torpedine, per il trattamento della gotta.

Nel 1745, più di 2000 anni dopo Aetus, un fisico tedesco scrisse il primo libro sulla terapia elettrica. In seguito a questa pubblicazione, i francesi Jallabert e Marat descrissero gli effetti dell'elettrostimolazione sulla contrazione muscolare dimostrando la loro utilità nella cura della neuroparalisi e dei reumatismi. Nel 1786, l'italiano Galvani scoprì l'elettricità biologica del corpo umano e la terapia costante di corrente elettrica che esso produce, più tardi riconosciuta come Galvanizzazione.

Nel 1831 la tecnica di faradizzazione di Faraday fu annunciata come un efficace trattamento della paralisi motoria. L'utilizzo su larga scala dell'elettrostimolazione arrivò nel 1840 quando il Guys' Hospital di Londra la impiegò sistematicamente. Nel 1902 il francese Ludec progettò uno stimolatore di corrente diretta intermittente, che fondò le basi per la moderna terapia di corrente diretta intermittente a bassa frequenza. L'apparecchiatura di Ludec era però voluminosa, difficile da trasportare e produceva forti e fastidiose stimolazioni.

La sua efficacia fu in ogni caso riconosciuta e il suo utilizzo diventò comune nel trattamento di malattie acute e croniche nel periodo fra il 1920 e il 1940, periodo in cui non era disponibile un'altra terapia altrettanto efficace.

Intorno al 1945 l'applicazione clinica dell'elettrostimolazione diventò meno popolare in seguito ai grossi progressi ottenuti nella farmacoterapia; venne poi rivalutata negli anni seguenti grazie alla sua effettiva assenza di effetti collaterali.

Il periodo del dopoguerra ha quindi assistito ad un notevole progresso nello sviluppo di strumenti di elettrostimolazine. Oggi possiamo disporre di una vasta gamma di elettrostimolatori che offrono una larga scelta di parametri come la frequenza, il tipo d'onda, la larghezza d'impulso e il tempo di riposo ecc. Questo progresso nello sviluppo di prodotti per l'elettrostimolazione ha a sua volta contribuito ad aumentare l'utilizzo della terapia basata sull'elettrostimolazione che fu chiamata elettrostimolazione nervosa transcutanea (TENS). [33]

2.2 Classificazione delle correnti

Con il termine *"elettroterapia"* si è soliti indicare l'utilizzo a scopo terapeutico dell'energia elettrica in tutte le sue forme.

2.2.1 Effetti biologici delle correnti

Se si pongono due elettrodi, uno positivo ed uno negativo, a contatto con una membrana cellulare, si avrà un aumento della concentrazione delle cariche di segno opposto in corrispondenza degli elettrodi, la corrente così applicata provoca nella cellula la depolarizzazione al catodo e l'iperpolarizzazione all'anodo. Lo stimolo elettrico, per essere efficace e generare un'eccitabilità neuro-muscolare, deve avere una certa intensità e deve essere applicato per un certo periodo di tempo.

L'elettrologia ha dimostrato che la terapia con correnti elettriche produce una serie di effetti sull'organismo (termici, chimici, elettromagnetici) che sono a loro volta responsabili delle azioni terapeutiche:

- eccitomotoria (nelle ipotrofie muscolari, nelle lesioni nervose periferiche);

- vasomotoria (vasodilatazione nei disturbi trofico periferici);
- analgesica-sedativa (per la sedazione di dolori a varia eziologia);
- veicolante (per l'introduzione di ioni medicamentosi attraverso la cute). [4]

L'impulso elettrico, portato sul nervo o direttamente sul muscolo, determina l'insorgere di un potenziale d'azione che provoca una contrazione; questa interesserà un singolo muscolo, se lo stimolo è applicato sul suo punto motore, o più muscoli contemporaneamente, se lo stimolo è portato su di un nervo motore.
L'ettrostimolazione del muscolo è diretta, cioè viene effettuata con elettrodi eccitanti collocati superficialmente in corrispondenza del punto motore del muscolo o dei gruppi muscolari, così da garantirne la contrazione selettiva (si parla invece di stimolazione indiretta quando viene stimolato il nervo motore corrispondente al muscolo o ai muscoli da far contrarre).

2.2.2 Correnti Continue e Correnti Variabili

Nell'ambito della terapia fisica e riabilitativa, l'energia elettrica viene utilizzata nella cura di patologie del sistema nervoso periferico (in modo da rallentare il processo di atrofia a cui sono soggetti i muscoli denervati), affezioni muscolari, dolorose e nervose (nevriti, sciatalgia, lombalgia, etc)
La tecnologia moderna mette a disposizione apparecchiature capaci di generare un numero considerevole di tipologie di correnti, diverse per frequenza, intensità e forma d'onda. Ognuna di queste, per le proprie caratteristiche fisiche, tecniche ed applicative, si rende responsabile delle diverse reazioni dell'organismo, e quindi di azioni, controindicazioni e limiti.

L'energia elettrica viene utilizzata sotto diverse forme che vanno dalla *corrente continua* alle *correnti variabili*. Le correnti elettriche sono in genere classificate in base alle loro caratteristiche fisiche: intensità, durata, frequenza, forma, direzione e modulazione, che conferiscono loro delle proprietà biologiche specifiche (Tabella 2.2.1) [4]

Bassa frequenza	Da 1 a 800Hz
Media frequenza	Da 800Hz a 10kHz
Alta frequenza	Da 10 a 80kHz

Tab. 2.2.1 Classificazione delle correnti in base alla loro frequenza

La corrente continua viene utilizzata sia per creare le *correnti galvaniche* (ad effetto analgesico e trofico), sia per la *ionoforesi*, una tecnica elettroterapica che sfrutta la corrente continua per introdurre medicamenti nelle zone caratterizzate da dolore o contrattura.

Con il termine corrente variabile si indicano numerose forme d'onda in cui le diverse conformazioni, come la larghezza dell'impulso e i tempi di pausa, si rendono responsabili di differenti effetti terapeutici, con azioni antalgiche, trofiche ed eccitomotorie. L'uso delle correnti variabili ha assunto sempre maggior rilevanza grazie a strumentazioni sempre più affidabili e sicure.

Le forme d'onda maggiormente impiegate per terapia sono:

- le correnti diadinamiche,
- le correnti sinusoidali,
- le correnti impulsate,
- la corrente faradica,

- TENS.

Nella pratica clinica si possono distinguere:

- elettroterapia di stimolazione: utilizzata per recuperare la forza muscolare, e quindi tono e trofismo di un distretto rimasto fermo in seguito ad un intervento chirurgico, o per patologie degenerative acute (es. *correnti ad impulsi, sinusoidale, faradica, di Kotz*);
- elettroanalgesia: con tale termine si indica l'azione antalgica propria di correnti come le *diadinamiche*, le *TENS*, e la *continua*;
- elettroterapia veicolante di farmaci: tale applicazione è propria della *ionoforesi* e della *iontoforesi*, che agiscono sia sul dolore che sul trofismo, ma anche in maniera mirata tramite il veicolamento del farmaco sulla condizione chimico-fisica locale. [4]

2.3 Corrente Continua

Per corrente continua (c.c.) si intende una corrente che abbia direzione e intensità costante nel tempo. L'utilizzo delle c.c. in terapia fisica è duplice: esse infatti vengono utilizzate sia per creare le cosiddette correnti "galvaniche" (a scopo analgesico e trofico), sia per ionoforesi medicamentosa. In genere l'ampiezza della corrente è compresa nell'intervallo 0-80mA

2.3.1 Galvanizzazione

Effetti fisiologici: L'applicazione di una differenza di potenziale tra due punti del corpo umano crea un passaggio di corrente dovuto alla conducibilità propria dei tessuti.

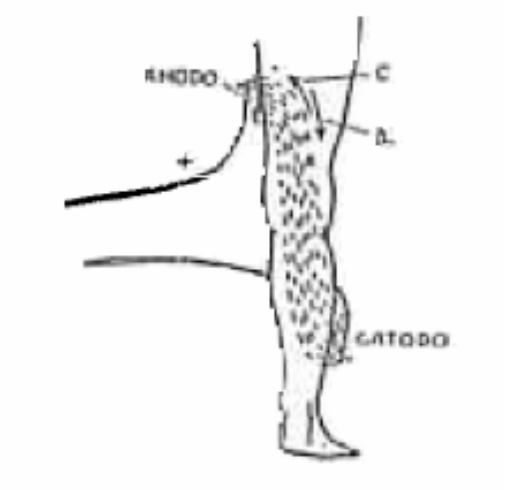


Fig. 2.3.4 Passaggio di corrente attraverso i tessuti

Il passaggio di corrente continua nel corpo umano provoca, come in una soluzione elettrolitica, spostamenti ionici in direzione del polo negativo da parte degli anioni (freccia a) e in direzione del polo positivo da parto dei cationi (freccia c). Tra i due elettrodi si crea un campo elettrico le cui linee di forza sono rappresentate schematicamente in fig. 2.3.4

Il passaggio dell'elettricità dipende dalla disponibilità di particelle cariche e dalla loro mobilità. Da menzionare anche il notevole effetto di iperemia (eritema galvanico), di supporto per analgesia.

Indicazioni. La terapia di galvanizzazione trova applicazione soprattutto nei disturbi trofici, nelle ipotrofie e ipotonie muscolari, nelle nevralgie (per l'azione sedativa del polo positivo).

Per disturbi trofici o deficit motori di tipo centrale, si usa l'elettrodo negativo come attivo e l'altro elettrodo, indifferente positivo, va posto alla radice dell'arto o sul dorso o in sede lombare. La scelta delle dimensioni degli elettrodi dipende dall'ampiezza dell'area da trattare e dalle caratteristiche della sua superficie, generalmente hanno dimensioni rettangolari, con un'area di 50-100 cm^2.

Per trattamenti a scopo analgesico (ad esempio nelle nevralgie) si usa il polo positivo come attivo**,** mentre l'elettrodo negativo viene posto in posizione indifferente sul dorso. E' possibile trattare contemporaneamente due arti, posizionando sul dorso un grande polo indifferente, e fissando sia sul polso che sulla caviglia due poli attivi negativi.

Nei trattamenti con correnti galvaniche per ridurre il rischio di ustioni dovute a sovradosaggi è molto importante sottoporre il paziente ad un *test di sopportabilità*: dopo aver applicato gli elettrodi al paziente si va ad aumentare gradualmente e molto lentamente l'intensità di corrente finché il paziente non avverte una sensazione di formicolio. A questo punto bisogna controllare il valore della corrente erogata e ridurre la stessa di almeno un terzo del valore letto, anche se la percezione del passaggio di corrente si riduce o è nulla. Gli elettrodi devono essere ricoperti da spugne appropriate, appositamente formate, che in sede di applicazione vanno sempre mantenute umide, assicurandosi di evitare il contatto diretto degli elettrodi o dell'estremità metallica dei fili conduttori con il paziente. I valori, funzioni della conducibilità della pelle e della dimensione degli elettrodi, generalmente sono compresi tra i 5 ed i 10mA, con densità di corrente non superiore a 0,5mA per cm^2. Al termine del trattamento può accadere di notare sulla superficie cutanea un arrossamento causato da una vasodilatazione, ma scompare dopo qualche minuto.

La galvanizzazione può avvenire con bacinelle contenenti acqua tiepida, all'interno delle quali vengono immersi uno o più arti contemporaneamente. La

corrente viene distribuita in modo uniforme da elettrodi collegati al generatore ed immersi direttamente nell'acqua. È opportuno istruire il paziente affinché eviti il contatto diretto con gli stessi. [5]

2.3.2 Ionoforesi

La ionoforesi è una tecnica elettroterapica che sfrutta la corrente continua per introdurre medicamenti nelle zone caratterizzate da dolore o contrattura.
L'azione della sostanza introdotta si esplica soprattutto negli strati superficiali della cute. Affinché la sostanza farmacologicamente attiva penetri nel tessuto è necessario che:
a) sia ionizzata;
b) si conosca preventivamente quale carica assume la parte attiva del medicamento.
L'applicazione percutanea risente notevolmente della funzione barriera dello stato corneo della cute; la via di penetrazione delle sostanze sono i dotti ghiandolari sudoripari ed i canali piliferi. La profondità raggiunta è di pochi millimetri, qui si formano dei depositi, poi mobilizzati dal circolo sanguigno e linfatico.
Le spugne degli elettrodi vengono imbevute con acqua e con una soluzione contenente lo ione medicamentoso, che va applicato al polo avente lo stesso segno, così: *gli ioni negativi vanno applicati all'elettrodo negativo e viceversa.*
Per aumentare gli effetti della ionoforesi, occorre ridurre al minimo gli ioni parassiti per cui è consigliabile:

- utilizzare sempre le stesse spugne per le stesse sostanze;
- lavare le spugne con acqua distillata;

- detergere la cute della zona da trattare;
- evitare di associare più sostanze, se non si è certi della loro compatibilità.

Per molecole complesse, essendo prevalente l'effetto di elettrosmosi, la polarità perde di significato e la penetrazione ha maggiore efficacia a livello dell'anodo. Per il dosaggio e l'intensità valgono le stesse indicazioni della galvanizzazione; per quanto concerne la durata, essa deve essere almeno di 30 minuti, poiché occorre un certo periodo di tempo per instaurare quei fenomeni di polarizzazione all'interno dei tessuti, indispensabili per consentire il passaggio della corrente e quindi l'introduzione del medicamento.

Indicazioni: Le indicazioni dell'elettroterapia con corrente continua sono, in teoria, molto numerose; in pratica, si riescono ad avere risultati analoghi con metodiche più moderne. Impiegarla in associazione con altre terapie come con la laserterapia, l'ultrasuonoterapia, la magnetoterapia ha lo scopo di conseguire un vantaggio più concreto e più rapido.

In genere, vengono utilizzate in caso di:

- alterazioni circolatorie periferiche;
- artrosi, artriti, borsiti ed affezioni post-traumatiche;
- nevralgie;
- tendiniti ed affezioni infiammatorie superficiali in generale.

Sono invece controindicate in caso di:

- dermatiti, ferite, abrasioni;
- ipoestesia, allergie, vasculopatie;
- epilessia;
- gravi disturbi cardiaci, pace-maker;
- presenza di metallo intratessutale [5]

2.3.3 Iontoforesi

La corrente continua, se utilizzata per tempi lunghi sulla cute, presenta degli inconvenienti che si manifestano con rossore e nei casi più gravi con microustioni, dovute in primo luogo al riscaldamento della cute sotto l'elettrodo, ma principalmente all'accumulo di cariche ioniche sotto gli elettrodi. Per evitare questi spiacevoli inconvenienti, da alcuni anni si utilizza un tipo di corrente definita iontoforesi.

Questa corrente, (diretta interrotta a media frequenza 8kHz, con *Duty Cicle* del 95%), ha gli stessi benefici della corrente continua, in quanto favorisce il passaggio attraverso la cute di sostanze medicamentose allo stato ionico, ma non presenta gli inconvenienti sopra citati.

La caratteristica sostanziale, che la differenzia dalla ionoforesi, sta nel tipo di elettrodo utilizzato, che prende il nome di *reservoir* (serbatoio). Questo ha una capacità di 3cc e viene posto a contatto con la cute e fissato ad essa per mezzo di un film adesivo. Il farmaco utilizzato, quindi, non viene a trovarsi a diretto contatto con la cute, come nella ionoforesi, ma viene diffuso attraverso una membrana semipermeabile. Da ciò si evince che la sostanza utilizzata deve avere delle caratteristiche ben definite di grandezza e peso molecolare , per soddisfare la "legge di predittività cinetica", fondamento dell'efficacia della pratica iontoforetica.

Indicazioni: Pur non essendoci una vasta letteratura su questa metodica relativamente recente, che di fatto rappresenta un'evoluzione della ionoforesi, alcuni Autori riferiscono buoni risultati in patologie flogistiche acute, con

l'utilizzo di un cocktail farmacologico a base di anestetico, in associazione ad un cortisonico. [4]

2.4 Correnti Diadinamiche

Le correnti diadinamiche sono correnti unidirezionali ed emisinusoidali a bassa frequenza. Furono scoperte da Pierre Barnard nel 1929 il quale per descriverne gli effetti biologici utilizzò i termini di reazione dinamogena, reazione di inibizione e reazione di assuefazione. Per reazione dinamogena (generatore di forza) si intende un'azione stimolante sulla muscolatura e sulla sensibilità. P. Barnard propose più tipi di correnti diadinamiche caratterizzate da differenti combinazioni di frequenze ognuna delle quali con diversi effetti biologici. [5]

2.4.1 Correnti Diadinamiche Monofase (MF)

La corrente diadinamica monofase (fig. 2.4.1) è una forma d'onda semisinusoidale con frequenza 50Hz con possibilità di regolare pausa ed azione.
Si ottiene mediante raddrizzamento parziale (ad una semionda) della sinusoidale a 50Hz, eliminando il semi periodo negativo; è caratterizzata da impulsi della durata di 10ms, con pausa di 10ms tra un impulso e l'altro. [29]

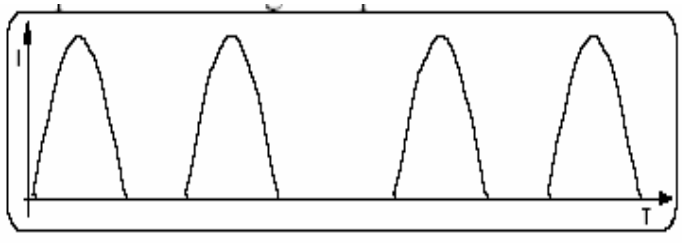


Fig. 2.4.1 Corrente diadinamica monofase

Si distingue in: *fissa* se i tempi di pausa sono uguali a zero, *sincopata rapida* se interrotta per un secondo ogni due e *sincopata lenta* se la pausa è di due secondi ogni cinque secondi. [4]

Tipo	**Tempo d'azione [s]**	**Tempo di pausa [s]**
Fissa	0	0
Sincopata rapida	2	1
Sincopata lenta	5	2

Tab. 2.4.2 Tipi di correnti diadinamiche monofase

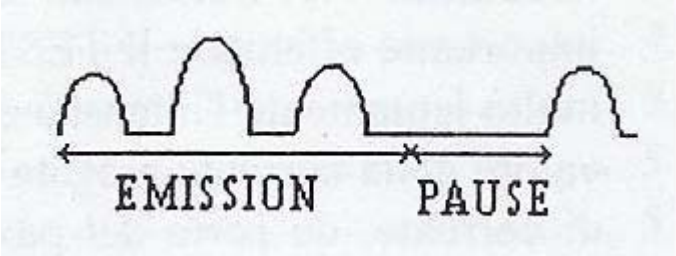


Fig. 2.4.3 Correnti diadinamiche: forma sincopata monofase

L'applicazione di tale corrente comporta una sensazione intensa e penetrante di vibrazione

Effetti fisiologici: La corrente monofase ha prevalentemente azione dinamogena. L'effetto predominante di questa corrente è l'azione eccito-motoria sulla muscolatura striata e sui nervi motori, ma ha anche effetto analgesico, iperemico e tonico.L'effetto antalgico è tardivo ma anche più prolungato.

Indicazioni: È indicata per la terapia di stati dolorosi di origine non spastica, per migliorare la tonicità del tessuto connettivo dei muscoli, per la localizzazione

diagnostica di zone d'organi infiammate o degenerate o in vicinanza di definiti punti di pressione del dolore. [5]

2.4.2 Correnti Diadinamiche Difase (DF)

Si tratta di una corrente semisinusoidale di frequenza 100Hz, che presenta la possibilità di regolare pausa ed azione.
Si ottiene raddrizzando totalmente la sinusoidale a 50Hz (a doppia semi onda), trasferendo a fianco del semi periodo positivo il semi periodo negativo; è caratterizzata da impulsi sinusoidali della durata di 10ms, che si susseguono senza pausa e con frequenza di 100Hz (Fig. 2.4.4) [29]

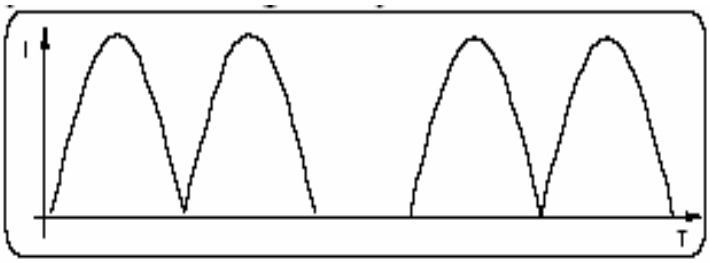


Fig. 2.4.4 Corrente difase

Si distingue in: *fissa* se i tempi di pausa sono uguali a zero, sincopata rapida (1 secondi di pausa e 2 secondi di stimolazione) e sincopata lenta (2 secondi di pausa e 5 secondi di stimolazione). [4]

Tipo	**Tempo d'azione [s]**	**Tempo di pausa [s]**
Fissa	0	0
Sincopata rapida	2	1
Sincopata lenta	5	2

Tab. 2.4.5 Tipi di correnti diadinamiche difase

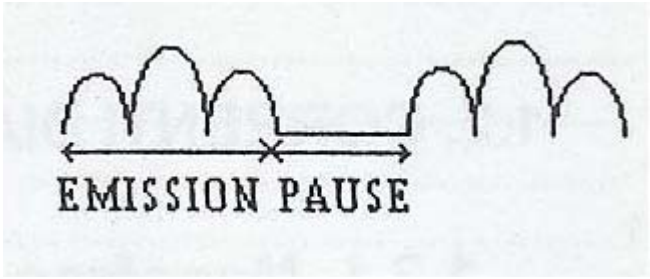


Fig. 2.4.6 Correnti diadinamiche: forma sincopata difase

L'applicazione di tale corrente comporta una lieve vibrazione e fibrillazione pungente, che scompare velocemente se l'intensità della corrente non viene aumentata ulteriormente. La sensibilità alla corrente è sicuramente inferiore rispetto alla monofase. Il suo passaggio, data la frequenza superiore, è meno avvertito e più piacevole.

Effetti fisiologici: L'azione principale della corrente DF è l'inibizione della sensibilità, la quale è responsabile dell'effetto antalgico realizzato da questa corrente. L'azione inibitrice viene tuttavia ostacolata dalla rapida insorgenza dell'assuefazione. Provoca, inoltre, iperemia, ha un effetto sedativo nei confronti del sistema simpatico ed uno spiccato effetto di recupero funzionale e motorio della muscolatura. [5]

2.4.3 Corrente corto periodo (CP)

È costituita da forme di corrente monofase (3 secondi) e difase (3 secondi) alternate ad intervalli di 1 secondo. La corrente periodo corto ha prevalentemente azione dinamogena. Grazie a questa azione, il periodo corto determina la contrazione dei muscoli striati, migliora lo stato di nutrizione dei tessuti e facilita il riassorbimento degli edemi postraumatici.

L'alternanza delle frequenze è chiaramente distinguibile, infatti si ha una sensazione di lieve tremolio che diminuisce rapidamente con la corrente DF ed una forte sensazione con intensa vibrazione con la MF. [29]

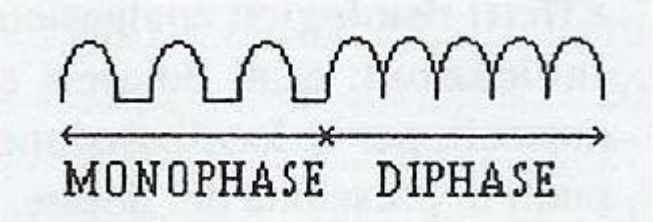


Fig. 2.4.7 Corrente diadinamica corto periodo

Effetti fisiologici: Questa forma d'onda presenta un accentuato effetto dinamogeno (cioè trofico), un minor effetto inibitorio ed un notevole effetto antalgico, specialmente in caso di stati cronici dolorosi; questo tipo di modulazione, fra tutte le altre forme di correnti diadinamiche, è la più efficace per quanto riguarda il riassorbimento di ematomi ed edemi.

Indicazioni: Il periodo corto viene utilizzato nel trattamento del dolore conseguente a forme infiammatorie di tendini, capsula articolare e tessuti molli (tendinite, borsiti, periartriti e traumatismi in genere). [5]

2.4.4 Corrente lungo periodo (LP)

Consiste in forme monofase e difase alternanti a periodi di 10 e 5 secondi; la seconda mezza onda è modulata in ampiezza dalla difase per cui ha l'effetto di una corrente di rigonfiamento.

La corrente periodo lungo ha prevalentemente una azione inibitrice sulla sensibilità e sulla muscolatura; pertanto produce analgesia e rilassamento della muscolatura striata. A causa del lungo intervallo e dell'accrescimento della difase, cioè della modulazione in ampiezza, l'alternanza tra fibrillazione intensa e lieve è dolce e meno brusca rispetto al corto periodo. [29]

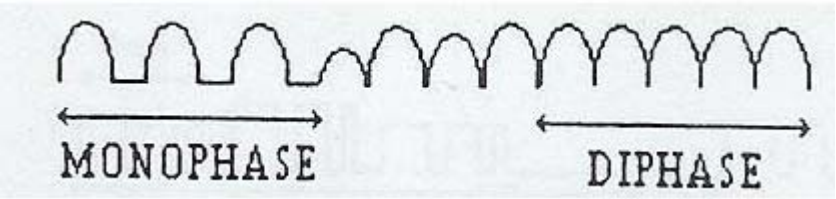


Fig. 2.4.8 Corrente diadinamica lungo periodo.

Effetti fisiologici: L'uniformità di azione è rotta in modo più lento rispetto alla corrente CP e ciò comporta un effetto inibitorio prevalente. L'effetto motorio è minore sulla muscolatura striata, mentre è prevalente sulla muscolatura liscia che ha un tempo di cronassia maggiore. Tale corrente possiede, quindi, un accentuato effetto antalgico.

È opportuno usarla dopo un trattamento preliminare con la corrente DF. Questa modulazione consente di ottenere l'attenuazione del dolore in modo rapido e duraturo nel caso di stati dolorosi acuti. È provato che nei disordini cronici risulta efficace il trattamento con correnti CP e LP in sessioni alternate.

Indicazioni: Il periodo lungo viene utilizzato nel trattamento del dolore muscolare e radicolare (mialgie, sciatalgie, brachialgie) in forma isolata o associato al periodo corto. [5]

2.4.5 Diadinamiche automatiche

Si tratta di una scansione automatica delle quattro correnti diadinamiche, iniziando dalla monofase per terminare con il periodo lungo.
La scansione automatica delle correnti diadinamiche viene utilizzata per evitare il fenomeno dell'assuefazione. [5]

2.4.6 Modalità di applicazione

Tali correnti vengono applicate tramite due elettrodi di grandezza adeguata all'area del dolore, seguendo le seguenti norme:

1. l'elettrodo attivo va posizionato sul punto di maggior dolore; in caso di dolore irradiato va applicato sul punto di insorgenza della radice nervosa. Per evitare interferenze con il ritmo cardiaco e contrazioni muscolari indesiderate è opportuno non posizionare mai l'elettrodo attivo sulla regione precordiale e in prossimità dei punti motori dei muscoli. L'elettrodo indifferente va posto a distanza opportuna dall'elettrodo attivo.
2. Per evitare il fenomeno dell'assuefazione è opportuno impiegare in ogni seduta due tipi di corrente (per esempio, si possono alternare 3-5 minuti di lungo periodo e 2 minuti di DF).

3. L'intensità della corrente viene regolata sulla sensazione riferita dal paziente: si impiegano valori compresi tra la soglia di percezione dello stimolo e la soglia del dolore.
4. In genere, si effettuano cicli di 10 sedute. [5]

2.5 TENS: "Elettrostimolazione nervosa transcutanea"

La sigla TENS è l'acronimo di "*Transcutaneous electrical nerve stimulator*"; si tratta di una tecnica di elettrostimolazione analgesica semplice e non invasiva.
Tale tecnica è principalmente utilizzata per la cura sintomatica del dolore cronico acuto e non maligno. È impiegata, inoltre, nella cura del dolore provocato da patologie e neoplasie metastatiche alle ossa, e, in alcuni casi meno frequenti, anche per ottenere effetti antiemetici e di cicatrizzazione dei tessuti. [6]
Di fatto i TENS sono elettrostimolatori di dimensioni ridotte, alimentati a batteria, che generano impulsi elettrici a finalità antalgiche. A differenza di tutte le altre forme d'onda utilizzate in elettroanalgesia, i parametri fisici delle correnti TENS sono precisamente definiti:

- la forma d'onda può essere monofasica rettangolare, oppure bifasica simmetrica, asimmetrica o a spike (queste sono le forme d'onda più usate, ma gli impulsi possono essere anche triangolari, sinusoidali o quadrati);
- la durata dell'impulso può variare da 30 a 400μs;
- la frequenza varia da 1 a 125Hz;
- l'emissione può avvenire in modalità continua o a pacchetti. [4]

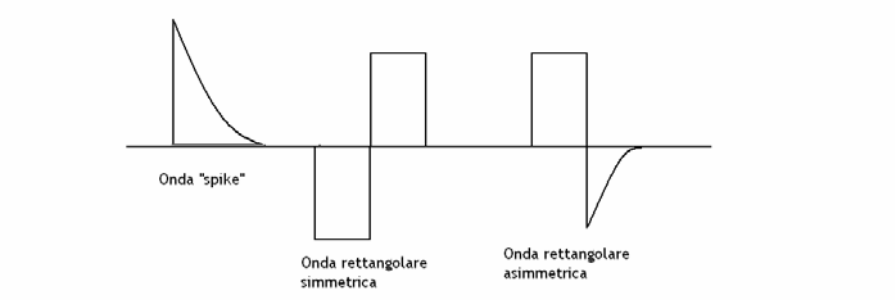


Fig. 2.5.1 Forma d'onda bifasica delle correnti TENS: a)onda spike; b) onda rettangolare simmetrica; c) onda rettangolare asimmetrica

La modalità convenzionale di applicazione delle TENS si basa sulla possibilità di attivare selettivamente le fibre "tattili" di diametro maggiore, senza attivare le fibre nocicettive, di diametro minore. In tal modo si riesce a produrre un effetto di sollievo dal dolore. In pratica, le TENS convenzionali sono impiegate per creare una efficace ma confortevole parestesia nel sito del dolore , utilizzando frequenze da 1 a 250 Hz, con una durata dell'impulso da 50 a 1000μs.
In medicina la TENS è la forma di elettroterapia analgesica più frequentemente utilizzata, poiché risulta di semplice impiego e di rapida efficacia e presenta limitati effetti collaterali. [7]

2.5.1 Principi fisici ed effetti fisiologici

In generale le TENS provocano la contrazione ed il rilassamento dei muscoli promuovendo così il flusso del sangue e dei linfociti. Questo processo, che permette l'eliminazione delle sostanze algogene, favorisce la diminuzione del dolore in nevralgie, artriti reumatoidi, dolori lombari, ecc. Le TENS facilitano anche il recupero di un muscolo affaticato attraverso la promozione del sistema

circolatorio, sono quindi efficaci in presenza di paralisi motoria e sensoriale del sistema nervoso causata da sclerosi cerebrale ed encefaloralgia. In aggiunta le TENS sono state studiate per essere efficaci nella regolazione del sistema nervoso autonomo. [7]

2.5.2 Diminuzione del dolore: Teoria del Gate control

Le TENS sono conosciute da oltre 150 anni per il loro effetto sedativo. Il meccanismo per il quale questo tipo d'elettrostimolazione riuscisse ad alleviare il dolore non fu mai analizzato.

Nel 1965, Melzack e Wall formularono una rivoluzionaria ipotesi per spiegare questo meccanismo sedativo: la teoria del Gate Control.

Essa spiega il meccanismo di trasmissione del dolore nel corno posteriore del midollo spinale sulla base del fatto che il dolore reagisce alla stimolazione sensoriale.

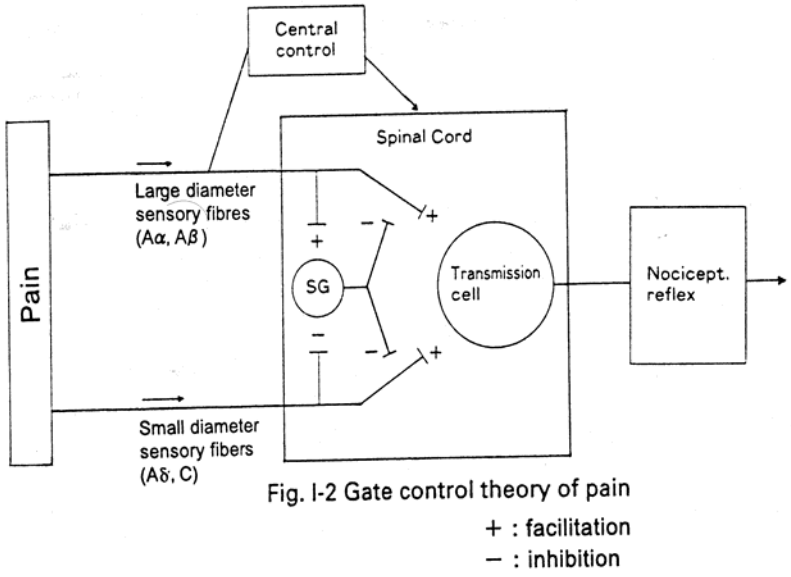


Fig. 2.5.2 Teoria del Gate Control

La teoria del cancello si basa sul presupposto che le fibre in arrivo al midollo spinale e che partecipano al sistema della nocicezione sono di grande diametro (fibre Aδ e C) e di piccolo diametro (fibre Aβ). Queste due categorie di fibre si distribuiscono alle cellule della sostanza gelatinosa di Rolando (SG in figura 2.5.2).

Alle fibre di piccolo diametro (nocicettive) di tipo mielinico Aδ e amielinico C viene attribuita la proprietà di condurre il segnale di dolore dalla zona algica periferica al sistema di controllo, che dal midollo spinale lo trasmette ai centri nervosi corticali per essere riconosciuto e modulato; sono inoltre caratteri una bassa velocità di conduzione.

Le fibre di grande diametro (non nocicettive) di tipo mielinico Aβlocità di conduzione rispetto alle fibre di piccolo diametro.

Se le l'attività delle fibre larghe il dolore è lieve o assente (*gate chiusa*); se invece prevale la trasmissione nelle fibre piccole nasce la sensazione di dolore (*gate aperta*).

Allora, se si riesce a stimolare le fibre di grande diametro senza stimolare le altre, viene attivata, a livello del midollo spinale, l'inibizione delle fibre di piccolo diametro e quindi una specie di "blocco" della via del dolore. La stimolazione delle fibre a grande diametro è resa possibile dalla differenza di sensibilità (ovvero differente velocità di conduzione) tra queste e le fibre di piccolo diametro. Nell'elettrostimolazione risulterà perciò fondamentale la durata degli impulsi.

Questa teoria, più volte modificata, ha aperto la via e chiarito il meccanismo d'azione di numerose terapie fisiche e riabilitative: elettrostimolazione transcutanea, correnti diadinamiche, mesoterapia, mobilizzazioni attive e passive etc.

Gli impulsi afferenti da numerosi tipi di meccanorecettori tessutali (cutanei, muscolari, articolari) possono quindi esercitare un effetto centrale di soppressione del dolore. Le probabilità che un input nocicettivo, proveniente dai nocicettori irritati meccanicamente o chimicamente a livello tessutale, possa attraversare il cancello sinaptico dei nuclei spinali basali, onde poter essere trasmesso ai centri superiori per creare l'esperienza del dolore, è in rapporto inverso con la frequenza di scarico dei meccanorecettori cutanei, muscolari ed articolari, dato che gli impulsi afferenti da tutti questi meccanorecettori convergono sugli stessi interneuroni inibitori delle corna posteriori della sostanza grigia del midollo spinale. Si spiega, pertanto, come la compressione dei tessuti circostanti un'articolazione dolorosa con un bendaggio elastico possa attenuare il dolore, poiché la compressione, come il massaggio e la mobilizzazione passiva, sono mezzi efficaci per stimolare i meccanorecettori della zona interessata.

Lo stesso si può ottenere con la stimolazione elettrica. Poiché l'eccitabilità elettrica delle fibre nervose è direttamente proporzionale al loro diametro, ed essendo il diametro delle fibre afferenti dai meccanorecettori maggiore di quello

delle fibre afferenti dai nocicettori, selezionando opportunamente l'intensità di una corrente elettrica è possibile, con la stimolazione nervosa transcutanea (TENS) ottenere un'azione analgesica stimolando selettivamente le fibre dei meccanorecettori. [8]

2.5.3 Principali caratteristiche fisiche

L'obiettivo della stimolazione elettrica è quello di far pervenire una scarica sufficiente ad una coppia di elettrodi in modo che la densità di corrente prodotta dal campo elettrico che ne risulta, sia in grado di eccitare le fibre afferenti in un nervo adiacente in maniera controllabile. Quasi tutti gli stimolatori utilizzano impulsi che presentano configurazioni differenti. Spesso è utilizzata un'onda bifasica in cui l'area della porzione positiva dell'onda è uguale a quella negativa per evitare effetti di polarizzazione nei tessuti sottostanti agli elettrodi. La forma dell'onda può essere: sinusoidale, triangolare, quadrata, rettangolare. La forma d'onda rettangolare asimmetrica è la più comune, anche l'onda spike è molto usata così pure l'onda bifasica, rettangolare e simmetrica. [10]

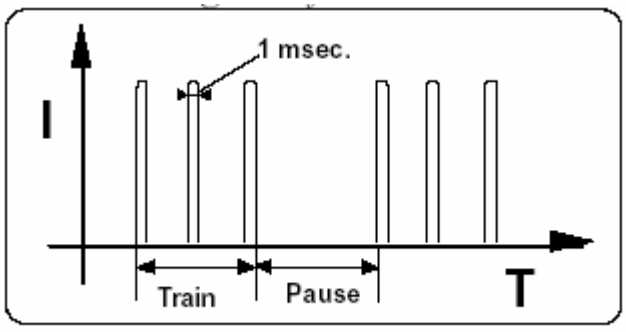


Fig. 2.5.3 TENS ad impulsi rettangolari

Le TENS possono essere erogate secondo quattro modalità principali:

- *Alta frequenza e bassa intensità.* Gli impulsi utilizzati impiegano una frequenza tra i 60 e i 100Hz e l'intensità non deve evocare reazioni motorie, ma solo far percepire al paziente una sensazione di formicolio sul segmento trattato. La comparsa dell'analgesia è in genere rapida, ma di breve durata, per cui sono richiesti trattamenti giornalieri prolungati, anche per diverse ore. L'assuefazione insorge rapidamente, per cui è necessario agire di frequente sull'intensità.
- *Bassa frequenza e alta intensità.* La frequenza degli impulsi è compresa tra 1 e 5Hz e l'intensità è tale da produrre fascicolazioni muscolari che possono risultare fastidiose. Il tempo di applicazione si aggira intorno ai trenta minuti, l'effetto antalgico è più duratura e l'assuefazione più tardiva. [4]
- *TENS a Burst:* è una TENS con caratteristiche intermedie alle due precedenti, che consta di brevissimi treni d'impulsi (5-7 impulsi in un tempo inferiore a 250μs), di solito ad elevata intensità ed alla frequenza di 80-100Hz, somministrati 2-3 volte al secondo. Questo trattamento, in cui i valori della maggior parte dei parametri di stimolazione sono di solito prefissati ed immodificabili, permette di ritardare sia l'accomodazione allo stimolo che il consumo delle batterie ed è meglio tollerato della stimolazione a bassa frequenza;
- *TENS Modulata:* è una TENS in cui sia la durata che la frequenza (sia alta che bassa) degli impulsi vengono continuamente modificate in modo automatico di ±30% del valore iniziale (facendo sempre in modo che, mentre un parametro cresce, l'altro deve diminuire). Questo accorgimento elimina la possibilità di accomodazione del soggetto e favorisce la tolleranza a maggiori intensità. [9]

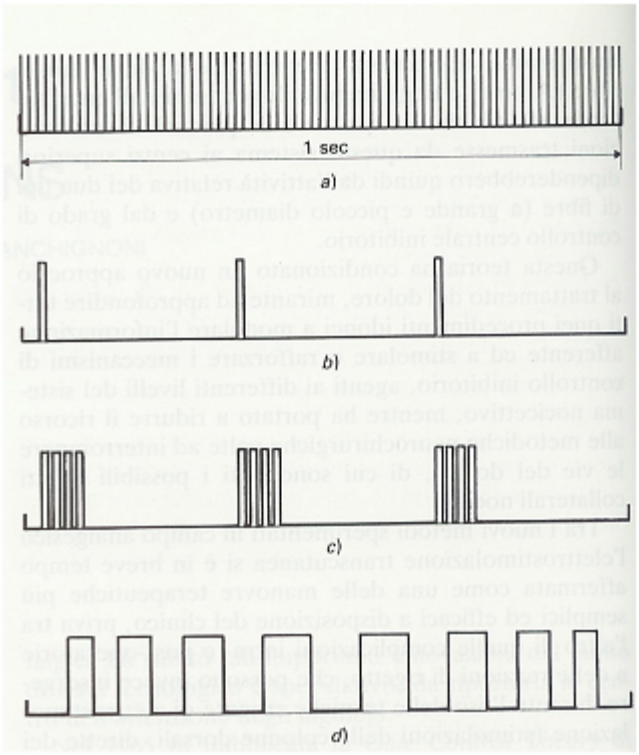


Fig. 2.5.3 Principali tipi di TENS: a) ad alta frequenza; b) a bassa frequenza; c) a burst; d) modulata

2.5.4 Scelta dei punti di stimolazione

Possono essere scelte stimolazioni di due o più punti e differenti tipi di posizionamento degli elettrodi, singolarmente o in associazione. I posizionamenti più utilizzati sono:

- *stimolazione locale*: gli elettrodi sono posti a livello delle zone dolorose oppure nelle loro immediate vicinanze; particolare efficacia ha la collocazione degli elettrodi in quei punti tendomialgici che presentano le caratteristiche dei *trigger points*. Questi si rilevano con la palpazione all'interno di bandellette muscolari contratte e sono foci iperirritabili, in grado di indurre, se stimolati, una risposta iperalgico-contratturale locale ,

accompagnata da irradiazione del dolore ad aree bersaglio discretamente riproducibili e prevedibili;

- *stimolazione del tronco nervoso:* viene eseguita posizionando gli elettrodi nel tratto prossimale del nervo periferico che innerva il sito algico e deve provocare una sensazione parestesica nella zona di distribuzione dello stesso;
- *stimolazione a livello metamerico:* si possono stimolare zone la cui innervazione sensitiva è comune, a livello spinale, a quella del punto dolente;
- *stimolazione eterosegmentaria:* in punti spesso lontani dalla regione dolente, suggeriti dalle tecniche agopunturistiche. [9]

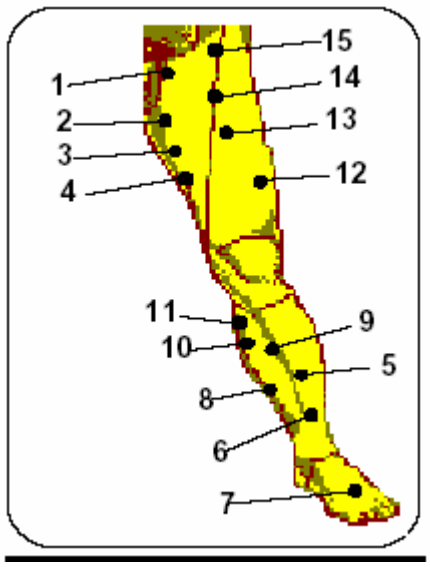


Fig. 2.5.4 Punti motori anteriori sull'arto Inferiore

2.5.5 Effetti collaterali e controindicazioni

Effetti collaterali: Le TENS producono pochissimi effetti collaterali. Possono comunque presentarsi occasionalmente nella zona dove vengono applicati gli

elettrodi arrossamenti o reazioni allergiche. Questi fastidi possono essere evitati utilizzando apparecchiature TENS affidabili e applicando gli elettrodi in maniera corretta utilizzando un gel di alta qualità.

Alcuni dei moderni elettrostimolatori sono stati studiati per generare correnti bifasiche con intervalli costanti in modo da rendere praticamente nulle le possibilità di scottature, dal momento che un'applicazione di corrente unidirezionale per un periodo di tempo lungo può provocare questo tipo di inconveniente

Controindicazioni: Le TENS sono controindicate per:

- Malattie acute
- Febbre oltre i 38°
- Tumori maligni
- Patologie cardiache
- Tumori agli organi della digestione
- Donne in gravidanza
- Bambini al di sotto dei 12 anni
- Pazienti a riposo
- Pazienti la cui diagnosi non sia ben certa [7]

2.6 Correnti interferenziali

La terapia interferenziale si basa sull'interferenza di due correnti elettriche sinusoidali a frequenze diverse applicate al paziente; la risultante, generata endogenamente, è una nuova corrente le cui frequenze sono rispettivamente la somma delle due frequenze iniziali, la differenza fra le due frequenze e loro multiple.

A fini terapeutici si utilizzano le correnti interferenziali la cui frequenza è la differenza delle frequenze dei due segnali applicati; se ad esempio applichiamo due correnti una a 4.000Hz e l'altra a 4.150Hz, la risultante avrà la frequenza di 150Hz. Tale corrente presenta vari pregi, quali: la capacità di passare facilmente attraverso la pelle, l'assenza di sensazioni di fastidio per il paziente, un eccellente effetto terapeutico in profondità, l'assenza di effetti elettrolitici.
Per applicare le correnti interferenziali occorre applicare due differenti correnti contemporaneamente tramite quattro elettrodi posizionati in maniera simmetrica (tecnica *quadripolare*) (Fig. 2.6.1)

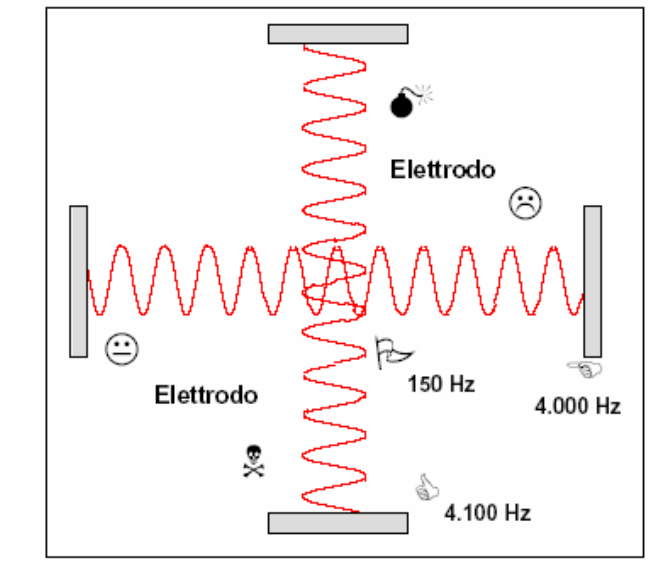


Fig. 2.6.1 Applicazione delle correnti interferenziali con tecnica quadripolare

Con la tecnica quadripolare la corrente all'interfaccia elettrodo-pelle non è modulata ed ha un'intensità inferiore a quella che si genera in profondità.
Questo metodo risente molto del grado di precisione di posizionamento degli elettrodi, per cui si utilizzano elettrodi complessi che contengono i quattro punti applicativi ad una determinata distanza.

Per semplificare l'applicazione a due soli elettrodi (*tecnica bipolare*) i nuovi generatori erogano una corrente elettrica che ha le stesse caratteristiche elettriche: una corrente di bassa frequenza che va a modulare una a media frequenza. In quest'ultimo caso, però, non si ottiene una corrente endogena a bassa frequenza. [29]

Effetti fisiologici. Gli effetti fisiologici delle correnti interferenziali variano con la frequenza impiegata:

- 1-10Hz. Questo intervallo di frequenze è adatto specialmente per l'esercizio muscolare in caso di atrofia derivante da inattività e da degenerazione parziale del sistema nervo-muscolo, purché l'eccitabilità faradica sia ancora presente. L'effetto della corrente è di mobilizzazione in caso di anchilosi e di tonicizzazione in casi di costipazione.
- 10-25Hz. Questo range di frequenze è adatto nelle congestioni e nei disordini circolatori, in quanto la contrazione ritmica sulla muscolatura scheletrica fa pressione sul contenuto delle vene.
- 25-50Hz. È usata tipicamente nell'esercizio della muscolatura scheletrica in stadio avanzato. Durante il trattamento la contrazione del muscolo aumenta da fibrillazione a contrazione tetanica.
- 50-80Hz. Il principale effetto consiste nell'ottenere sollievo dal dolore in modo durevole come alternativa alla variazione.
- 80-100Hz. Il principale effetto si ha sul sistema nervoso vegetativo in forma di sedativo simpatico-tonico. È indicato negli stati di disordini vegetativi come tachicardia, tachicardia parossistica, costipazione spastica, dismenorrea. Questo range di frequenze è il più veloce nell'alleviare il dolore, ma ha un effetto breve. Per questo si usa in combinazione con altri intervalli di frequenze. Ad esempio, per alleviare il dolore nei casi di nevralgia del trigemino, occipitale, dei nervi sciatici è consigliabile

cominciare con il ritmo di frequenze 80-100Hz per 3-5 minuti, e proseguire con un ritmo 1-50Hz

- 1-100Hz. La variazione di frequenza nella banda 1-100Hz produce un'alternanza ritmica degli effetti di eccitazione e sedativi, o di tonicizzazione e detonicizzazione. Gli effetti ottenuti sono: iperemia attiva in superficie ed in profondità, attivazione del flusso linfatico, stimolazione del metabolismo cellulare, normalizzazione del tono muscolare, compresi i vasi, rapido assorbimento di edemi ed ematomi, effetto di massaggio della muscolatura scheletrica grazie alle onde di contrazione -fibrillazione-contrazione tetanica nel range di frequenze 1-50Hz. Il range 1-100Hz è adatto specialmente per il trattamento di disordini acuti e subacuti quali dischinesia degli organi addominali e pelvici, disordini tropicali e condizioni traumatiche come distorsioni e contusioni. [5]

Pur garantendo una buona azione antalgica, le correnti interferenziali sono poco utilizzate, anche a causa della loro scarsa maneggevolezza.

2.7 Elettroterapia galvanica ad alto voltaggio

Tra le varie forme d'onda utilizzate a finalità prevalentemente antalgiche, una metodica abbastanza recente è l'elettroterapia galvanica ad alto voltaggio (*High Voltge Galvanic Stimulation*, HVGS), che si differenzia dalle altre forme di elettrostimolazione per alcune peculiarità di carattere elettrico. Il termine "galvanica" utilizzato nella definizione di questa forma d'onda non deve tratte in inganno: pur trattandosi di una corrente monofasica, la breve durata dell'impulso non la qualifica per tale termine.

Innanzitutto, l'elettrostimolatore ha un rendimento che può arrivare fino a 500V di uscita; comunque è importante sottolineare come la caratteristica principale sia rappresentata dal tipo di impulso emesso: si tratta di un'onda di tipo monofasico con forma a doppio picco. La durata dell'impulso è molto breve, essendo compresa tra i 5 e i 75μs. L'intensità della corrente può arrivare ad un massimo di 2500mA, valore difficilmente raggiungibile con altri tipi di elettrostimolatore. La carica massima dell'impulso è compresa tra 10 e 15μC.

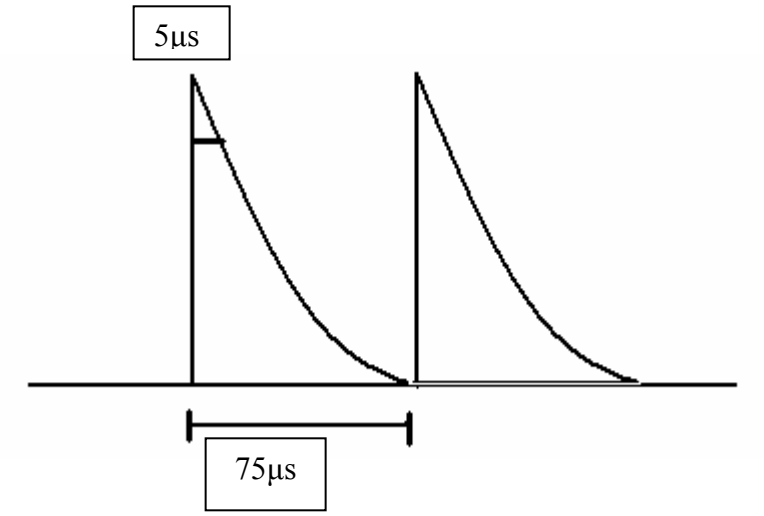


Fig. 2.7.1 Impulsi di stimolazione ad alto voltaggio

Queste caratteristiche, in particolare la breve durata dell'impulso, sono responsabili dell'ottime tollerabilità (*compliance*) da parte del paziente, grazie anche all'assenza di effetti termici o chimici all'interno dei tessuti utilizzati. [4]

2.7.1 Modalità di applicazione

Questi stimolatori dispongono di un grande elettrodo indifferente, che deve essere posizionato ad una certa distanza dagli elettrodi attivi, che possono

assumere polarità positiva o negativa a seconda delle indicazioni. Anche la scelta delle frequenze viene selezionata in base ai singoli casi: generalmente vengono utilizzate frequenze più alte (80-100Hz) per il trattamento del dolore acuti e frequenze più basse (8-20Hz) per casi cronici. Il trattamento può essere effettuato anche in acqua, permettendo così la miglior cura di segmenti corporei di forma irregolare (mano, piede), consentendo l'effettuazione di semplici esercizi terapeutici sotto analgesia. Il paziente percepisce la sensazione gradevole di formicolio odi profonda vibrazione, in rapporto alle frequenze utilizzate.

Indicazioni. Sono in funzione delle frequenze utilizzate e riguardano:

- edemi;
- trattamento del dolore acuto e cronico;
- spasmo muscolare (contrattura antalgica);
- ipotrofia muscolare da non uso;
- patologie circolatorie periferiche;
- patologie endorali di pertinenza ortodontia od odontoiatrica (spasmo dei muscoli pterigoidei in corso di sindromi algido disfunzionali dell'articolazione temporomandibolare).

Non va applicata a pazienti portatori di pace maker, nella regione succlavia-carotidea, in gravidanza e nelle sedi di neoplasie.[4]

2.8 Elettroterapia di stimolazione muscolare

La corrente elettrica, oltre ad avere effetti antalgici, può avere sull'organismo un'azione eccitomotoria. Numerose sono in elettroterapia le forme d'onda utilizzate per la stimolazione neuromuscolare.

Si possono distinguere due casi di stimolazione neuromuscolare:

- stimolazione di muscoli innervati (ipotrofia muscolare da non uso, paralisi isteriche): correnti faradiche, ad impulsi rettangolari, di Kotz;
- stimolazione di muscoli denervati: correnti esponenziali.

Nel *muscolo normalmente innervato***,** la contrazione è la risposta alla stimolazione delle fibre nervose che si diramano tra le fibrille, mentre in caso di *denervazione* la risposta è l'eccitazione diretta delle cellule muscolari. Nel muscolo normalmente innervato si usano indifferentemente impulsi rettangolari o esponenziali.

La stimolazione elettrica di un muscolo, in base a come vengono posizionati gli elettrodi, può essere:

- *diretta***,** se avviene sul "punto motore" del muscolo,
- *indiretta***,** se viene stimolato il nervo motore corrispondente.

Comunemente si definisce *"punto motore"* il punto della superficie cutanea dove l'applicazione dell'elettrodo, a parità di caratteristiche dello stimolo, determina una risposta contrattile del muscolo in esame più estesa e consistente, e coincide con il punto dove il nervo inizia a ramificarsi per raggiungere le varie fibre muscolari.

L'elettrodo stimolante**,** di solito di piccole dimensioni (5-20 cm^2), è collegato al polo negativo e fissato sul punto con una cinghia elastica o un cerotto anallergico. L'elettrodo indifferente, di superficie maggiore, è posto in una zona vicino al muscolo da trattare.

La durata dell'impulso è strettamente legata all'intensità della stimolazione (tipicamente fino agli 80mA), infatti, quanto più è breve il tempo di applicazione, tanto maggiore sarà l'intensità necessaria per produrre una contrazione.

In caso di *muscolo denervato* a causa di una lesione motoneurale periferica, il tessuto contrattile subisce delle modificazioni funzionali e metaboliche estremamente significative. La paralisi e la completa inattività motoria determinano atrofia muscolare e le miofibrille vengono sostituite da tessuto connettivale e da grasso.

Dopo un certo periodo di tempo, la fibra nervosa lesa può rigenerarsi e reinnervare il tessuto muscolare residuo, ma se la degenerazione è stata massiccia, la ripresa funzionale del muscolo sarà irrimediabilmente danneggiata. Il trattamento elettroterapico viene attuato a livello della muscolatura interessata ed effettuato se è plausibile l'ipotesi di reinnervazione, in quanto l'elettroterapia porta ad un miglioramento dei livelli trofici del muscolo, ad un aumento dell'elasticità e della distensibilità. [28]

Gli elettrodi sono di dimensioni discrete (50-100 cm^2), per interessare un maggior numero di fibre.

L'elettrodo stimolante è il negativo, ma spesso si utilizza il positivo se nel muscolo si è verificata l'inversione di eccitabilità, di dimensioni minori rispetto all'indifferente. Il muscolo denervato perde la capacità di accomodamento, per cui gli impulsi che riescono ad eccitare il muscolo, meno fastidiosi per il paziente, sono impulsi esponenziali, piuttosto lunghi (80-120ms di durata) con intensità tali da determinare un fenomeno contrattile esteso al muscolo. Le pause tra i singoli impulsi risentono dell'affidabilità del muscolo denervato: devono essere lunghi 4-5 secondi e anche più. E' buona norma effettuare una curva intensità/durata del muscolo interessato, così da ricavare le caratteristiche (durata ed intensità) degli impulsi maggiormente efficaci per la stimolazione delle fibre denervate.[29]

2.9 Correnti di stimolazione del muscolo normoinnervato

2.9.1 Impulso rettangolare

Si tratta di una corrente ad impulsi singoli rettangolari con spike di depolarizzazione, che può assumere solo due valori: 0 e I_m (intensità massima, in genere pari ad 80mA) e offre la possibilità di regolare la pausa da 0 a 15s. (Fig. 2.9.1) [29]

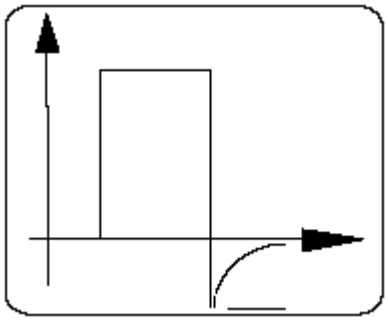


Fig. 2.9.1 Impulso rettangolare

Effetti fisiologici. L'impulso rettangolare abbina gli effetti della corrente faradica e della corrente galvanica. Infatti, la fase di salita dell'impulso ha un effetto analogo a quello della corrente faradica che ha caratteristiche essenzialmente eccito-motorie, mentre il tratto costante ha un effetto analogo a quello della corrente galvanica che è essenzialmente trofica. Lo spike negativo di depolarizzazione riduce gli effetti di accumulo delle cariche elettriche.

Questo tipo di trattamento viene impiegato quando il nervo ed il muscolo risultano eccitabili, utilizzando un'opportuna durata dell'impulso con successiva pausa, in modo da consentire al muscolo in trattamento una ginnastica regolare.

Indicazioni. La corrente ad impulsi rettangolari è particolarmente indicata nel trattamento di artrosi, artriti, lombalgia, spondilosi, tendovaginiti, stati post-traumatici (ad es. ematomi, distorsioni, contratture, lussazioni…). Essa produce, inoltre, notevoli benefici nei casi di nevralgie, neuriti, angiopatie arteriose e venose (es. sintomi varicosi), arteriosclerosi, emicrania.
Tale forma d'onda viene inoltre utilizzata anche negli esami elettrodiagnostici. [5]

2.9.2 Corrente di Kotz

E' stata proposta negli anni settanta da Y. M. Kotz, dal quale prende il nome. E' una corrente a media frequenza impiegata per il potenziamento del muscolo normalmente innervato. Si impiega una corrente a 2kHz interrotta. Questa è costituita da pacchetti di 10ms di corrente seguiti da pause della stessa durata; pertanto vengono erogati 50 pacchetti di impulsi al secondo.

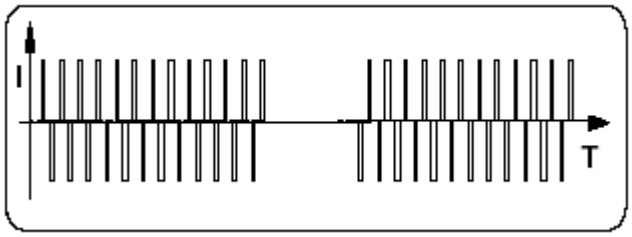


Fig. 2.9.2 Andamento della corrente di Kotz

E' stato dimostrato che, utilizzando la corrente di 2kHz interrotta, si ha una diminuzione della forza di contrazione massima dopo 12,5s di erogazione e dopo pause inferiori a 20s, a causa del fenomeno dell'accomodazione. Per ovviare a tale inconveniente si è soliti erogare tale corrente per 10 secondi seguiti da pause di 15 secondi.

Effetti fisiologici. La corrente di Kotz provoca la contrazione delle fibre muscolari innervate; non riesce a stimolare le fibre denervate a causa della brevità degli impulsi che la compongono. Rispetto alle correnti eccitomotorie a bassa frequenza, questa corrente assicura il maggior reclutamento muscolare, un'azione in profondità e la maggiore tollerabilità.

L'effetto eccitomotorio della corrente di Kotz si realizza nei muscoli profondi, perché la cute oppone a queste correnti una minore resistenza. E' infatti dimostrato che l'impedenza elettrica della cute diminuisce con l'aumento della frequenza. Tra le correnti eccitomotorie, le correnti bidirezionali a media frequenza sono le meglio tollerate dal paziente. Ciò si verifica perché, aumentando la frequenza della corrente, si viene a creare una dissociazione tra la soglia di contrazione muscolare e quella della sensazione dolorosa.

Indicazioni. La corrente di Kotz viene impiegata per il potenziamento dei muscoli normalmente innervati. Essa permette il massimo reclutamento muscolare con la minore sensazione dolorosa. Inoltre, trova ampia applicazione in ortopedia per il rafforzamento di muscoli reduci da immobilizzazione, nel trattamento della scoliosi con il metodo SPES (Surface Paravertebral Electro Stimulation), nella elettrostimolazione dei muscoli innervati nella FES (Functional Electrical Stimulation) in pazienti emiplegici. [5]

2.9.3 Corrente faradica

La corrente faradica è caratterizzata da una forma d'onda rettangolare, con impulsi di durata 1ms e frequenza variabile.

La sensazione avvertita dal paziente è simile a quella di una puntura dovuta alla stimolazione dei nervi sensitivi. Tale sensazione non è intensa perché gli impulsi sono molto brevi.

Effetti fisiologici. È utilizzata a frequenze basse (20Hz), per ottenere singole contrazioni muscolari, applicata con tempi di pausa di 1-2 secondi e modulata.

A frequenze superiori (50-100Hz) produce un tetano completo del muscolo. Gli effetti che comporta, oltre che eccitomotori, sono di vasodilatazione e di trofismo.

Indicazioni. Si utilizza la corrente faradica per la stimolazione di muscoli normalmente innervati**,** data la ridotta dimensione dell'impulso che la rende meglio tollerata dal paziente rispetto alle altre forme d'onda, o nei casi di difficoltà motoria in cui non è evidente la causa provocante.

Grazie a questa corrente è possibile raggiungere la contrazione tetanica, ma per evitare l'affaticamento muscolare la corrente viene modulata in modo da consentire il rilassamento muscolare. È inoltre adatta al trattamento dell'ipotrofia muscolare da non uso, e in più la contrazione muscolare ha un effetto positivo sulle ossa e sulla circolazione articolare.

L'elettrodo attivo negativo viene posto sul punto motore, l'elettrodo indifferente viene posto in una zona vicina a quella da trattare.

La frequenza è dell'ordine di 20-30Hz, con tempi di stimolazione 1 secondo e con pausa di 1-2 secondi, tra una contrazione e la successiva, mentre se si vuole una risposta tetanica prolungata, la frequenza è dell'ordine di 50-100Hz e con tempi di pausa di 0,5- 2 secondi. La durata della pausa deve consentire la ripresa dell'irrorazione muscolare ed il riassorbimento dell'acido lattico prodotto. La corrente faradica, per la brevità dell'impulso elettrico, non e' in grado di eccitare i muscoli denervati. [5]

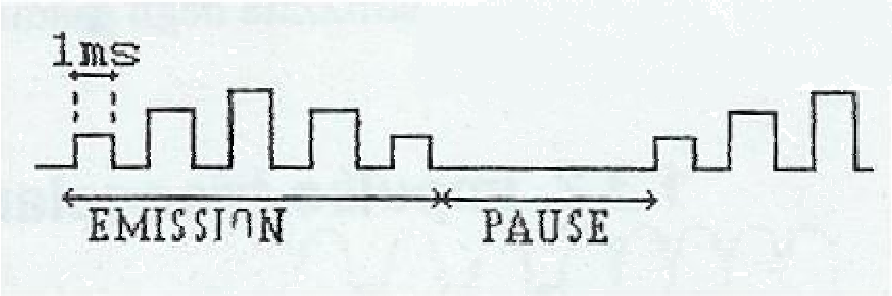


Fig. 2.9.3 Corrente Faradica

2.10 Correnti Esponenziali: stimolazione del muscolo denervato

È una corrente ad andamento parabolico, con spike di depolarizzazione, che raggiunge il valore massimo I_m (circa 80mA) con un tempo di salita ad andamento esponenziale uguale alla larghezza dell'impulso (fig. 2.9.3), (cambia la pendenza) per poi ritornare a 0. Presenta la possibilità di regolare la pausa ed azione da 0 a 15s.

Questo tipo di forma d'onda viene impiegato nel trattamento dei muscoli denervati, cioè nei casi in cui è presente una lesione neurologica periferica. È indispensabile sottolineare come i parametri di questa stimolazione (intensità e durata dello stimolo) vadano regolati in base alla curva i/t, ottenuta con l'esame elettrodiagnostico. Lo stimolo deve avere un'intensità superiore alla reobase e una durata minima necessaria per ottenere una buona contrazione. Con questo tipo di impulsi è possibile avere la stimolazione selettiva del muscolo paralizzato senza interessare i gruppi muscolari sani adiacenti. Le pause tra i singoli impulsi devono essere sufficientemente lunghe per evitare l'affaticamento.[4]

Effetti fisiologici. Ha una netta azione stimolante sul sistema neuro muscolare. Particolarmente adatta per stimolazione selettiva ed in casi di parziale o totale denervazione.

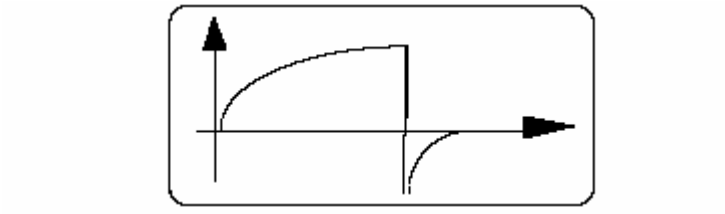


Fig. 2.10.1 Impulso esponenziale

2.11 Microcorrenti (MENS)

A differenza delle terapie di elettrostimolazione convenzionali, che utilizzano correnti con intensità dell'ordine di milliampere (mA), la microcorrente utilizza una corrente a bassa intensità (microampere μA). Questa leggera corrente è al di sotto della soglia del dolore dell'uomo e quindi non viene percepita dal paziente.
La terapia MENS offre al paziente notevoli vantaggi:

- Sicurezza
- Comfort
- Diminuzione del dolore acuto e cronico
- Veloce recupero dei tessuti e rapida guarigione di ferite, cicatrici e fratture ossee.
- Produzione di fibre collagene, che favoriscono l'elasticità della pelle
- Assenza totale di effetti collaterali e complicazioni [19]

2.11.1 Principi delle correnti MENS

Il meccanismo funzionale delle MENS è complicato e non è stato ancora completamente analizzato. Nonostante l'esistenza di una varietà di teorie contrastanti, sono state accumulate un numero sufficiente di ricerche che sembrano giustificare le seguenti conclusioni.

2.11.2 "Injury current "e le funzioni delle MENS

Si è visto nel cap. 1 che sulla membrana cellulare è presente un'energia potenziale di circa –50 mV. Questo energia è conosciuta come potenziale di membrana a riposo(Fig. 2.11.1a). Quando una cellula viene danneggiata il potenziale della parte lesa diventa negativo e la corrente elettrica fluisce nell'area ferita. (Fig. 2.11.1b).

Questo fenomeno fu accuratamente misurato da Matteucci (1938) e Bois-Reymond (1843); questa corrente è oggi comunemente conosciuta come "injury current".

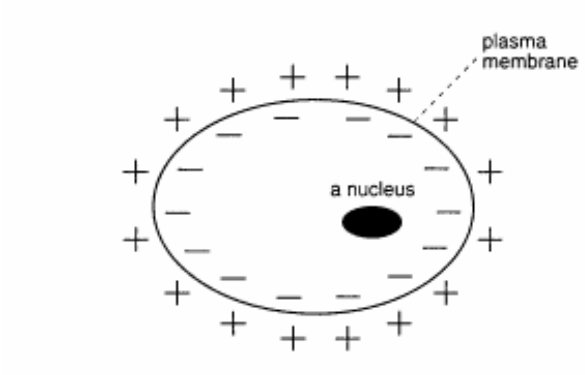


Fig. 2.11.1 a:potenziale di riposo di una cellula sana

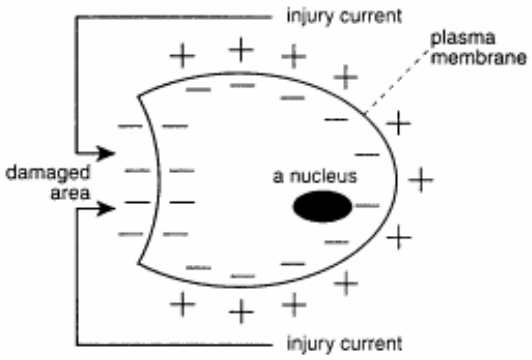


Fig. 2.11.1 b Potenziale di riposo di una cellula lesa

L'injury current viene generata non solo quando singole cellule vengono lese ma anche quando vengono lesi i tessuti. L'intensità dell' injury current varia da 10 μA a 30 μA, come dimostrato durante gli esperimenti; in altre parole la injury current è una microcorrente.

L'injury current promuove il recupero di cellule e tessuti danneggiati nell'organismo vivente. Si ritiene che la stimolazione con questo tipo di corrente possa generare ATP e sintetizzare le proteine e favorire la ricostruzione dei tessuti danneggiati. Si può quindi supporre che una microcorrente generata artificialmente possa integrare e stimolare ulteriormente le naturali funzioni dell' injury current.

Quindi, le MENS aumentano la produzione di ATP, promuovono sintesi delle proteine e il trasporto attivo degli aminoacidi. Questi effetti delle Microcorrenti sono stati dimostrati attraverso studi sperimentali. In realtà non è stato ancora determinato esattamente come queste Microcorrenti riescano a provocare questi cambiamenti fisiologici. Tuttavia il recente sviluppo della biologia quantistica ha reso possibili alcune deduzioni e cioè che gli elettroni trasportati all'interno del corpo per mezzo delle Microcorrenti, determinano le funzioni collegate al fenomeno sopra descritto.

Dalla descrizione delle caratteristiche fisiologiche delle cellule nervose emerge che gli elettroni sono parte integrante di molte delle complicate reazioni chimiche che avvengono sistematicamente nel corpo umano.

E' calcolato che con una corrente di 10μA di MENS vengono liberati approssimativamente 6.3×10^{12} o 6,300 bilioni di elettroni per secondo. Questo fluire di elettroni condiziona tutte le reazioni chimiche nel corpo umano. [20]

2.11.3 MENS e il meccanismo di riduzione del dolore

Le MENS hanno un potente effetto analgesico su una varietà di patologie. Il meccanismo per il quale questo processo analgesico avviene non è ancora sufficientemente spiegato dalla teoria di Gate Control delle TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation), le quali utilizzando una corrente in milliampere stimolano un incremento sostanziale di endorfina e enkefalina, sostanze già prodotte dal corpo umano.

Si ritiene che siano coinvolti i seguenti fattori:

1. Generalmente le MENS si propagano attraverso i vasi sanguigni dove la resistenza elettrica è minima. Durante questo processo, i vasi capillari sono stimolati dal fluire degli elettroni, migliorando quindi il flusso del sangue e nello stesso tempo viene accelerata la decomposizione di bradichinina, istamina e altri sostanze che provocano dolore cosi come anche l'acido lattico e altri prodotti dell'affaticamento. Queste sostanze decomposte vengono velocemente trasportate via dal flusso del sangue.
2. Oltre al processo precedente viene generato ATP e vengono sintetizzate le proteine necessarie per accelerare il recupero della parte danneggiata, diminuendo così il dolore. Lo scopo di questa procedura non è quello di alleviare il dolore ma di guarire il danno; in questo modo la diminuzione del dolore ne è solo una naturale conseguenza.

Nonostante le spiegazioni precedenti siano ancora ipotetiche, un numero sufficiente di ricerche convaliderebbero queste ipotesi. Nel caso dell'ipotesi (1) la riduzione del dolore dovrebbe essere immediata, mentre nel caso dell'ipotesi (2) è necessario un periodo di trattamento più lungo per un'effettiva guarigione.

Numerosi studi clinici indicano che per ottenere gli effetti delineati nel punto (1) le MENS diventano più efficaci con i seguenti parametri: intensità 300 o più μA,

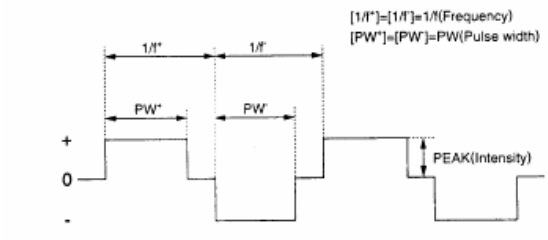
impulso da 1 a 50 millisecondi, frequenza 200 o più Hz. Per ottenere invece i risultati più a lungo termine descritti nel punto (2), i parametri più idonei sono: intensità da 10 a 200 μA, impulso 200 o più millesecondi, frequenza da 0,3 a 1,0Hz [20]

2.11.4 Applicazioni delle MENS

L'Elettrostimolazione in microcorrente (MENS) è conosciuta anche come MicroTENS o LIDC (Low intensity Direct Current). Come dice il nome stesso questo tipo di terapia è caratterizzato dall'utilizzo di una microcorrente. I trattamenti devono essere eseguiti applicando con cura i parametri appropriati e non superando mai le dosi consigliate.

La terapia *MENS* comprende generalmente due fasi. La fase 1 mirata principalmente a diminuire il dolore mentre la fase 2 a risolvere il trauma e riparare il tessuto danneggiato. Mentre la fase 1 permette un rapido sollievo del dolore, la fase 2 promuove la produzione di ATP e la sintesi proteica accelerano il recupero dei tessuti e quindi una guarigione di base. Queste due fasi vengono eseguite in successione.

Nella figura seguente è riportata la forma d'onda utilizzata nella terapia con microcorrenti ed i relativi parametri standard di intensità, frequenza e larghezza d'impulso.



Phase	Intensity	Frequency	Pulse length
1	200 μA	10Hz~400Hz	1millisec~50millisec
2	10 μA~200 μA	0.3Hz~1Hz	100millisec

Fig. 2.12.3 MENS: forma d'onda, intensità frequenza e larghezza d'impulso

Le microcorrenti possono essere combinate con l'elettrostimolazioni di tipo TENS. Questo abbinamento può produrre grandi risultati in presenza di dolori acuti o sintomi d'irrigidimento muscolare o paralisi. In questi casi l'elettrostimolazione di tipo TENS andrà a sostituire la fase 1 del trattamento. [19]

2.11.5 Effetti collaterali e controindicazioni

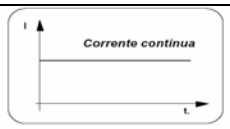
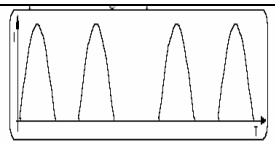
Effetti collaterali: Le MENS causano pochissimi effetti collaterali: occasionalmente possono manifestarsi nei punti dove vengono posti gli elettrodi, arrossamenti o prurito soprattutto in quei pazienti con allergie o con una particolare sensibilità epidermica. In questi casi il paziente dovrebbe interrompere il trattamento e rivolgersi ad un dermatologo. La terapia può essere ripresa alla scomparsa dei sintomi seguendo naturalmente con attenzione le dovute raccomandazioni.

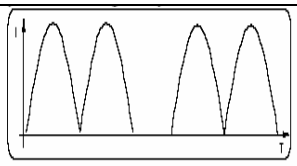
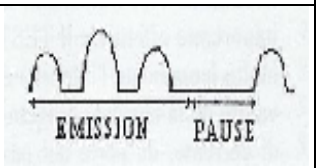
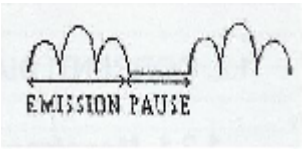
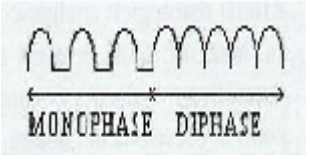
Controindicazioni: Le MENS sono controindicate:

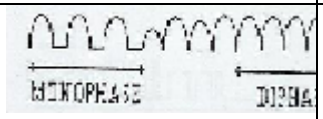
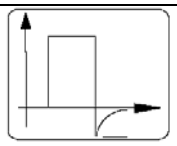
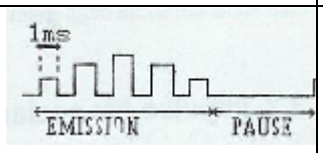
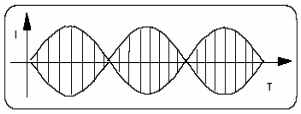
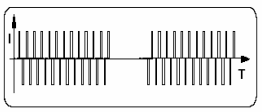
- nei pazienti portatori di pace maker,
- nei pazienti con malattie infettive,
- in presenza di febbre sopra i 38° C,
- donne in gravidanza,
- durante il ciclo mestruale,
- per stimolazione regione cerebrale
- nei bambini al di sotto dei tre anni

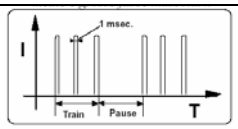
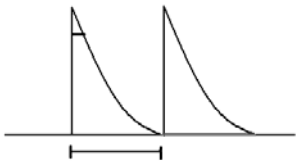
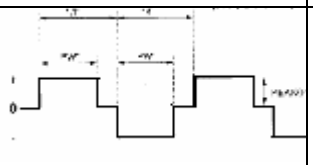
- in tutti quei pazienti giudicati da un medico inadatti a sostenere una terapia con Microcorrenti. [19]

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle caratteristiche generali e dei parametri standard, comuni alla maggior parte delle apparecchiature per elettroterapia, delle forme d'onda analizzate.

Tipo di corrente	Forma d'onda	Impostazione dei parametri	Valore di picco	**Caratteristiche ad uso terapeutico**
Galvanica		Intensitàdi corrente regolabile con passo discreto	± 80mA	Effetto antalgico e veicolante di farmaci
Diadinamica Monofase		Frequenza: 5-100Hz	±50mA	Buon effetto antalgico, facile reperibilità delle apparecchiature, rapida assuefazione

Diadinamica difase		Frequenza :10-200Hz	±50mA	Buon effetto antalgico, facile reperibilità delle apparecchiature, rapida assuefazione
Diadinamica sincopata monofase		Frequenza: 5-100Hz Durata: 1-10s Pausa: 0-10s	±50mA	Buon effetto antalgico, facile reperibilità delle apparecchiature, rapida assuefazione
Diadinamica sincopata difase		Frequenza. 10-200Hz Durata: 1-10s Pausa: 0-10s	±50mA	Buon effetto antalgico, facile reperibilità delle apparecchiature, rapida assuefazione
Diadinamica corto periodo		Frequenza: 5-100Hz Durata monofase: 1-10s Durata difase: 0-10s	±50mA	Buon effetto antalgico, facile reperibilità delle apparecchiature, rapida

				assuefazione
Diadinamica lungo periodo		Frequenza: 5-100Hz Durata monofase: 1-10s Durata difase: 0-10s	±50mA	Buon effetto antalgico, facile reperibilità delle apparecchiature, rapida assuefazione
Impulsi rettangolari		Durata: 0.1-1000ms Pausa: 0.5-20s	±80mA	Stimolazione del muscolo normoinnervato
Faradica		Frequenza: 10-300Hz Durata: 1ms Pausa: o-10s	±80mA	Stimolazione del muscolo normoinnervato
Interferenziale		Frequenza modulante: 4kHz Frequenza portante: 5-200Hz	125mA	Buon effetto antalgico in profondità, scarsa maneggevolezza.
Corrente di Kotz (sinusoidale interrotta)		Frequenza modulante: 50-80Hz Frequenza portante:1-	140mA	Stimolazione del muscolo normoinnervato

		2.5kHz		
TENS		Frequenza: 2-200Hz Emissione: 100-600µs	140mA	Buon effetto antalgico, applicazioni prolungate e domiciliari, maneggevolezza
Alto voltaggio		Durata: da 5 a 75µs Frequenza: 80-100Hz(dolore acuto); 8-20Hz dolore cronico	2500mA	Assenza di effetti termici o chimici nei tessuti attraversati.
MENS monofase		Frequenza: 10-400Hz Durata: 1-50ms	200µA	Non percepita dal paziente
MENS bifase		Frequenza: 0.3-1Hz Durata: 100ms	10-200µA	Non percepita dal paziente

Capitolo 3

Apparecchiature per elettroterapia

3.1 Moduli fondamentali di un sistema per elettroterapia

In generale, un apparecchio per elettroterapia è un sistema che converte la tensione di rete (230V, 50Hz) in correnti con specifiche caratteristiche fisiche. I principali moduli costituenti tale dispositivo sono:

- circuito di alimentazione;
- stadio oscillatore;
- amplificatore di segnale;
- circuito finale configurato come "generatore di corrente costante" o come "generatore di tensione costante";
- stadio di uscita;
- display dei parametri.

Nella figura 3.1.1 è riportato lo schema a blocchi generale di un'apparecchiatura per elettroterapia.
Oggi tutte le apparecchiature utilizzate sono dotate di almeno due canali di uscita, in modo da poter trattare più aree contemporaneamente. Ogni canale d'uscita è associato ad una coppia di elettrodi, ognuno dei quali deve essere elettricamente isolato dagli elettrodi di qualsiasi altra coppia.
Alcuni strumenti forniscono impulsi in tensione (la tensione non varia al variare dell'impedenza tra gli elettrodi), mentre altri forniscono impulsi in corrente. Quest'ultima soluzione è preferibile in quanto fa in modo che la forma degli impulsi non venga modificata al momento del passaggio attraverso i tessuti. In tal modo, infatti, l'apparecchio è in grado di adattarsi a qualsiasi resistenza si

opponga alla propagazione dell'impulso elettrico nel muscolo, fornendo così, in ogni istante, la quantità di corrente desiderata.

In generale, tali elettromedicali consentono di selezionare:

- la forma d'onda della tensione o della corrente applicata al paziente tramite gli elettrodi cutanei;
- i parametri di tale forma d'onda (ampiezza, frequenza, durata);
- gli intervalli di durata e di pausa del treno d'impulsi applicato al paziente;
- la durata della seduta. [12]

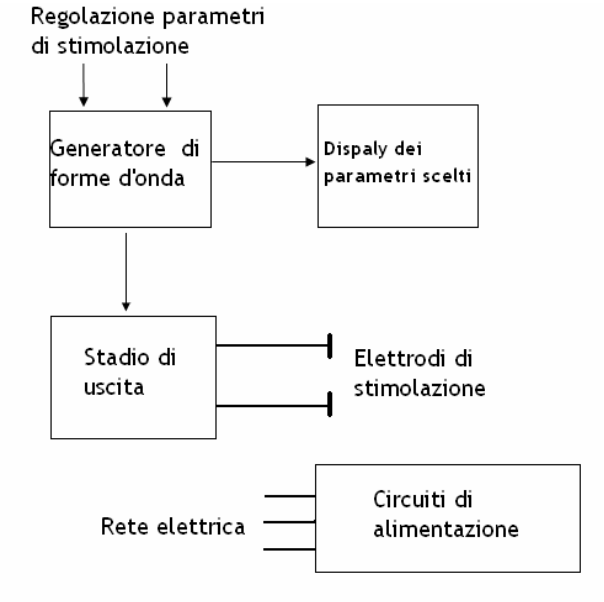


Fig. 3.1.1 Schema a blocchi di un apparecchio per elettroterapia

Nell'ambito dei sistemi utilizzati per l'erogazione di correnti a scopo terapeutico, è possibile individuare due ulteriori classi di apparecchiature:

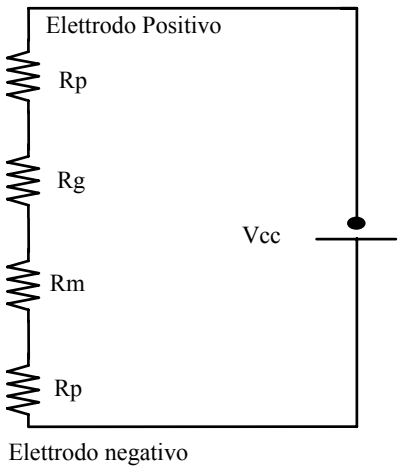
- sistemi per elettrodiagnosi;
- stimolatori muscolari, neuro-muscolari ed antalgici.

3.2 Gli elettrodi

Elementi fondamentali, in dotazione a qualsiasi apparecchiatura per elettrostimolazione, sono gli elettrodi, delle piastre che, applicate sulla zona da trattare, consentono di erogare il tipo e la quantità di corrente necessaria.
Gli elettrodi sono costituiti da piastrine metalliche inserite in una guaina di materiale spugnoso imbevuto di soluzione salina o di acqua non distillata, oppure da piastrine flessibili di gomma elettricamente conduttrice cosparsa di gel conduttore.
Gli elettrodi, vanno rimossi dalla pellicola trasparente, con la massima delicatezza, evitando qualsiasi contatto con oggetti e parti del corpo, e vanno posizionati secondo l'illustrazione riportata nella guida di posizionamento, in dotazione all'apparecchio. La zona d'applicazione degli elettrodi va detersa con la massima cura, utilizzando un apposito detergente. Gli elettrodi vanno applicati sulla cute assolutamente asciutta. Bisogna evitarne l'applicazione sulle ferite, dopo l'epilazione (o depilazione) e la rasatura, sui nervi, sulle teleangectasie (lesioni dei capillari superficiali, di colore blu a forma di ragnatela). Per maggiore sicurezza ed efficacia è indispensabile utilizzare gli elettrodi e gli accessori in dotazione all'apparecchio utilizzato, questo perché il generatore di corrente calcola con un preciso algoritmo la quantità e la qualità di energia necessaria per stimolare in maniera ottimale i motoneuroni o i nervi periferici. Altri elettrodi potrebbero avere la stessa dimensione, ma viscosità o gel diverso. [29]

Fig. 3.2.1 Esempi di elettrodi in dotazione ad apparecchiature per elettroterapia

L'interposizione del gel conduttivo o di spugnette tra l'elettrodo e la cute è fondamentale per ridurre il rischio di bruciature per il paziente e per erogare il tipo e la quantità di corrente necessaria. Infatti, essendo la superficie degli elettrodi poco estesa (circa $4cm^2$), si crea in corrispondenza un'elevata densità di corrente, potenzialmente pericolosa. Il gel, invece, realizza un adattamento del sistema elettrodo-pelle, in quanto abbatte l'impedenza di contatto, consentendo così di erogare effettivamente la quantità di corrente desiderata e creando un percorso a bassa resistenza per la corrente, alternativo rispetto a quello costituito dalla pelle. Il tutto può essere meglio compreso osservando i seguenti circuiti equivalenti.



Per la legge di Ohm si ha:

$I = V_{cc} / (2R_p + R_g + R_m)$

V_{cc}: Tensione di alimentazione

R_p: Resistenza della pelle (500kΩ-1MΩ)R_m: Resistenza dei muscoli (1kΩ-5kΩ)

R_g : Resistenza del grasso (10kΩ-50kΩ)

Fig. 3.2.2 Schema di base di applicazioni elettroterapiche in corrente continua senza l'interposizione di spugnette tra elettrodi e pelle.

Da questi valori e dalla legge di Ohm deriva che la corrente che attraversa il circuito è determinata in gran parte dal valore di R_p che limita in generale la corrente che attraversa i tessuti. Per ridurre il valore di R_p si ricorre a delle spugnette che frapposte tra l'elettrodo e la cute creano di fatto un percorso alternativo alla R_p a resistenza molto bassa.

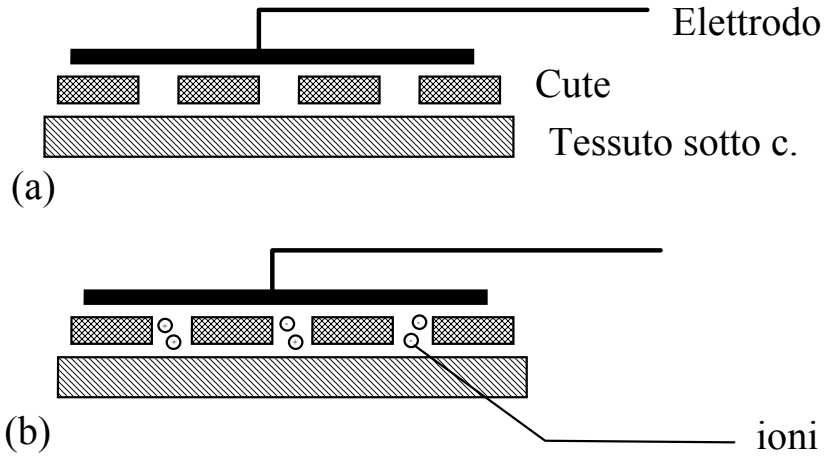
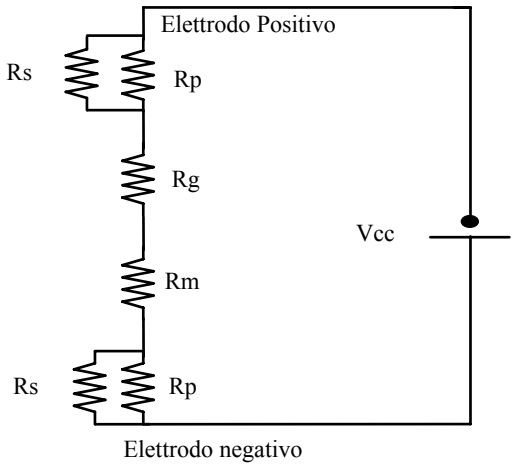


Fig. 3.2.3 (a)Elettrodo posto sulla cute asciutta
(b)Elettrodo su cute umida oppure con interposizione di una spugnetta imbevuta.

L'inserimento della spugnetta può essere modellato quindi con un elemento resistivo in parallelo alla resistenza equivalente della cute. Questo, avendo una resistenza molto più bassa di quella della cute elimina di fatto il problema, facendo in modo che il grosso della caduta di potenziale si abbia sul grasso e sui muscoli piuttosto che sulla pelle. [11]



V_{cc}: Tensione di alimentazione

R_p: Resistenza della pelle

R_m: Resistenza dei muscoli

R_g : Resistenza del grasso

R_s: Resistenza della spugnetta (100Ω ca.)

Fig. 3.2.4 Schema di base di applicazioni elettroterapiche in corrente continua con l'interposizione di spugnette tra elettrodi e pelle.

3.2 Funzionalità e caratteristiche tecnologiche

Un tradizionale apparecchio per elettroterapia è dotato di un software che consente di utilizzare i programmi per l'impostazione dei parametri dei vari trattamenti e per l'erogazione delle correnti terapeutiche a media e bassa frequenza di cui si è parlato. È poi possibile inserire nell'apparecchiatura un menù integrativo contenente una serie di trattamenti preimpostati e delle schede sulle quali l'operatore può memorizzare i trattamenti più usati o il trattamento personalizzato di ogni paziente.

La maggior parte degli attuali sistemi per elettroterapia consente di ampliare le funzionalità di base sfruttando le moderne tecnologie, e si presentano, allo stesso tempo, maneggevoli e facili da utilizzare, grazie alle piccole dimensioni, all'aspetto compatto ed alla presenza di display che consento un semplice interfacciamento con l'operatore.

La tecnologia utilizzata, derivata dai moderni Personal Computer, consente infatti, tramite smart card o con il collegamento ad Internet, di aggiornare continuamente la macchina, aggiungendo funzioni e nuovi protocolli terapeutici.
Il display grafico LCD consente di visualizzare, durante ogni trattamento, tutte le informazioni necessarie, in particolare:

- curva intensità-durata con tempo di cronassia e corrente di reobase;
- tipologia di corrente selezionata;
- tempo di applicazione;
- intensità e polarità della corrente;
- forma d'onda e parametri caratteristici della corrente selezionata.

Le uscite sono completamente indipendenti e permettono di erogare differenti protocolli di lavoro. Ogni modulo di uscita comprende un microcontrollore che, oltre a garantire la sicurezza, esegue una verifica in tempo reale sulla corrente e sulla tensione in uscita, segnalando eventuali incongruenze fra il valore impostato e quello effettivamente erogato.
Il sistema permette di controllare lo stato di usura dei cavi e degli elettrodi di uscita, segnalando quando è opportuno la loro sostituzione.
Un encoder permette di selezionare velocemente la corrente o il protocollo da erogare, accedendo ad una libreria di programmi o creare e memorizzare nuovi protocolli di lavoro semplici o sequenziali.
Ogni apparecchio ha, poi, in dotazione una serie di accessori, quali:

- manuale d'uso;
- cavo di alimentazione;
- elettrodi (varie coppie di diverse dimensioni) e relativi cavi di collegamento ;

- spugne per elettrodi;
- fasce elastiche. [34]

3.2.1 Impostazione di una seduta di lavoro

Dopo aver posto l'elettromedicale su di una base stabile, assicurandosi che le feritoie di ventilazione siano libere, collegati i cavi di alimentazione, è possibile passare ad attuare le procedure necessarie per il funzionamento.

1. Attraverso l'apposito interruttore si accende l'apparecchio; questo compie un rapido controllo interno ed è quindi pronto per essere utilizzato.
2. Si collegano i cavi e gli elettrodi con le relative spugne.
3. L'apparecchio si pone automaticamente sul primo canale, e ciò viene evidenziato dall'accensione del relativo LED sul pannello frontale. È comunque possibile selezionare anche gli altri canali d'uscita presenti, premendo i relativi pulsanti.

Per poter impostare un trattamento occorre selezionare dal menù di base la corrente desiderata. (In molti casi è possibile selezionare le varie correnti con i relativi tasti-funzione presenti sul pannello frontale).
Per ogni corrente è possibile visualizzare una nuova maschera che consente di selezionare tutti i parametri caratteristici (intensità, frequenza, eventuale frequenza di modulazione) e le altre funzioni disponibili (tempo si emissione e di pausa, e, nel caso di correnti interferenziali, è possibile impostare l'emissione in corrente costante, CC, o in tensione costante, CV).

Una volta posizionati opportunamente gli elettrodi sulle zone da trattare, impostati i parametri specifici del trattamento da effettuare, si può far partire l'erogazione della corrente secondo i modi e i tempi stabiliti. [5]

3.4 Sistemi per elettrodiagnosi

Gli attuali apparecchi per elettroterapia funzionano anche come sistemi per elettrodiagnosi, ossia consentono di rilevare caratteristiche di eccitabilità e conduzione elettrica di tessuti nervosi muscolari ai fini della diagnosi, derivando la curva intensità-durata e misurando la velocità di conduzione del potenziale d'azione lungo le fibre nervose. Il risultato di tale operazione è l'esame elettrodiagnostico, importante supporto nell'esame clinico neurologico.

L'esame elettrodiagnostico indaga la risposta muscolare diretta o mediata attraverso il nervo motore e fornisce dati relativi all'eccitabilità del nervo e del muscolo; fornisce quindi elementi utili per poter decidere che tipo di elettrostimolazione risulta essere più adeguata al caso esaminato.

Il principio di funzionamento delle apparecchiature per elettrodiagnosi si basa sull' applicazione di stimoli elettrici e sulla osservazione della risposta elettrica o meccanica a tali stimoli.

Gli stimoli sono applicati per mezzo di elettrodi cutanei lungo il decorso di un fascio nervoso.

La risposta può essere:

- contrazione meccanica di un muscolo;
- risposta elettrica di un muscolo rilevata con opportuni elettrodi di prelievo;

- risposta elettrica del nervo rilevata con opportuni elettrodi di prelievo e con apparecchiature più sofisticate delle precedenti;
- risposta elettrica conseguente alla attivazione di fibre sensoriali e rilevata tramite tecniche di analisi dei potenziali evocati. [12]

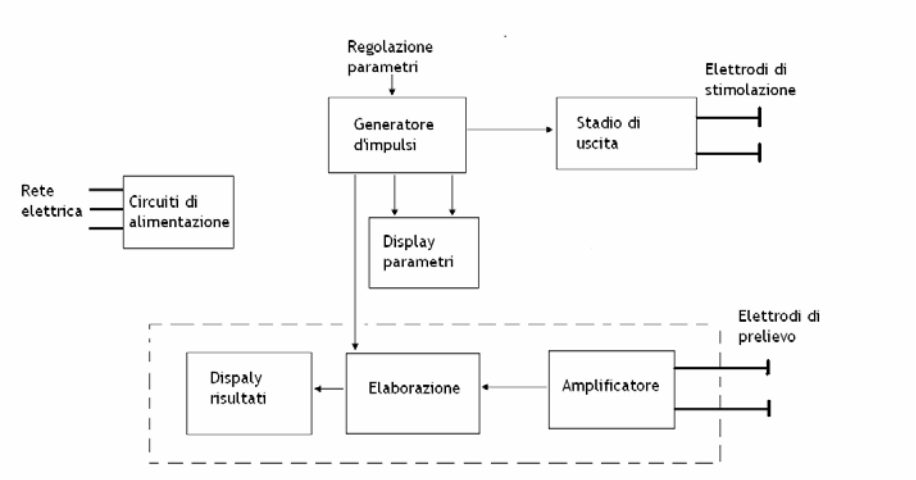


Fig. 3.4.1 Schema a blocchi di un sistema per elettrodiagnosi

L'esame viene eseguito con gli elettrodi in configurazione monopolare; l'elettrodo a penna collegato al catodo, mentre l'altro elettrodo, indifferente, collegato all'anodo, viene situato a distanza (ad esempio, sotto una coscia, sotto una mano, etc…) e deve avere una superficie sufficientemente estesa in modo che la densità di corrente in tale sede non determini l'eccitazione della muscolatura sottostante.

3.5 Stimolatori muscolari, neuromuscolari e antalgici

Con i termini "*Stimolatori muscolari, neuromuscolari e antalgici*" si intende una famiglia di apparecchiature di elettroterapia progettate e commercializzate per impiego fuori dall'ambito ospedaliero, a domicilio oppure presso il letto del paziente in strutture territoriali, a fini terapeutici oppure ortesici oppure antalgici. Si tratta, nella quasi totalità dei casi, di apparecchi di uso molto semplice alimentati con batterie o accumulatori ricaricabili.

Le applicazioni cliniche più diffuse sono: elettroterapia del muscolo denervato, stimolazione elettrica funzionale, trattamento della scoliosi, elettroanalgesia.

Sia nelle applicazioni terapeutiche (elettroterapia del muscolo denervato, stimolazione elettrica funzionale, trattamento della scoliosi), sia in quelle ortesiche (stimolatori peroneali, stimolatori multicanali di ausilio al cammino o alla manipolazione), sia in quelle antalgiche (stimolatori per la riduzione o soppressione del dolore), lo stimolatore deve applicare alla cute del paziente impulsi elettrici aventi parametri regolabili dal terapista o dal paziente, ed aventi ampiezza alquanto superiore a quella direttamente ottenibile dalla batteria di alimentazione.

Lo schema a blocchi dello strumento, quindi, include sempre un generatore di impulsi e un convertitore di tensione, come indicato in figura 3.5.1

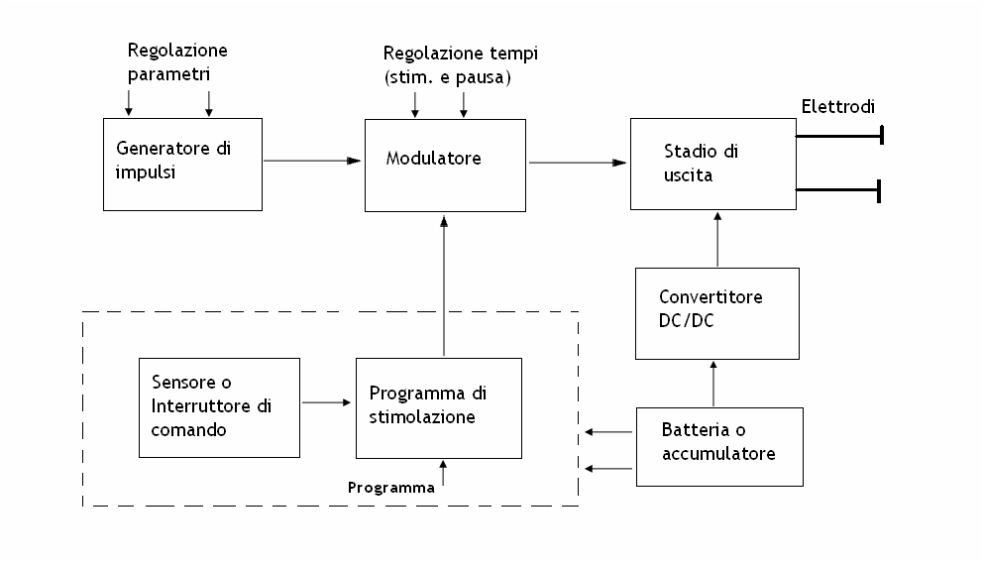


Fig. 3.5.1 Schema a blocchi di uno stimolatore neuromuscolare

Nelle applicazioni funzionali e/o che richiedono programmazione, si aggiungono i blocchi indicati nella linea tratteggiata in figura.

La figura 3.5.2 indica, invece, uno dei più diffusi esempi di stimolatore funzionale per la correzione del cammino dell'emiplegico (stimolatore peroneale). [12]

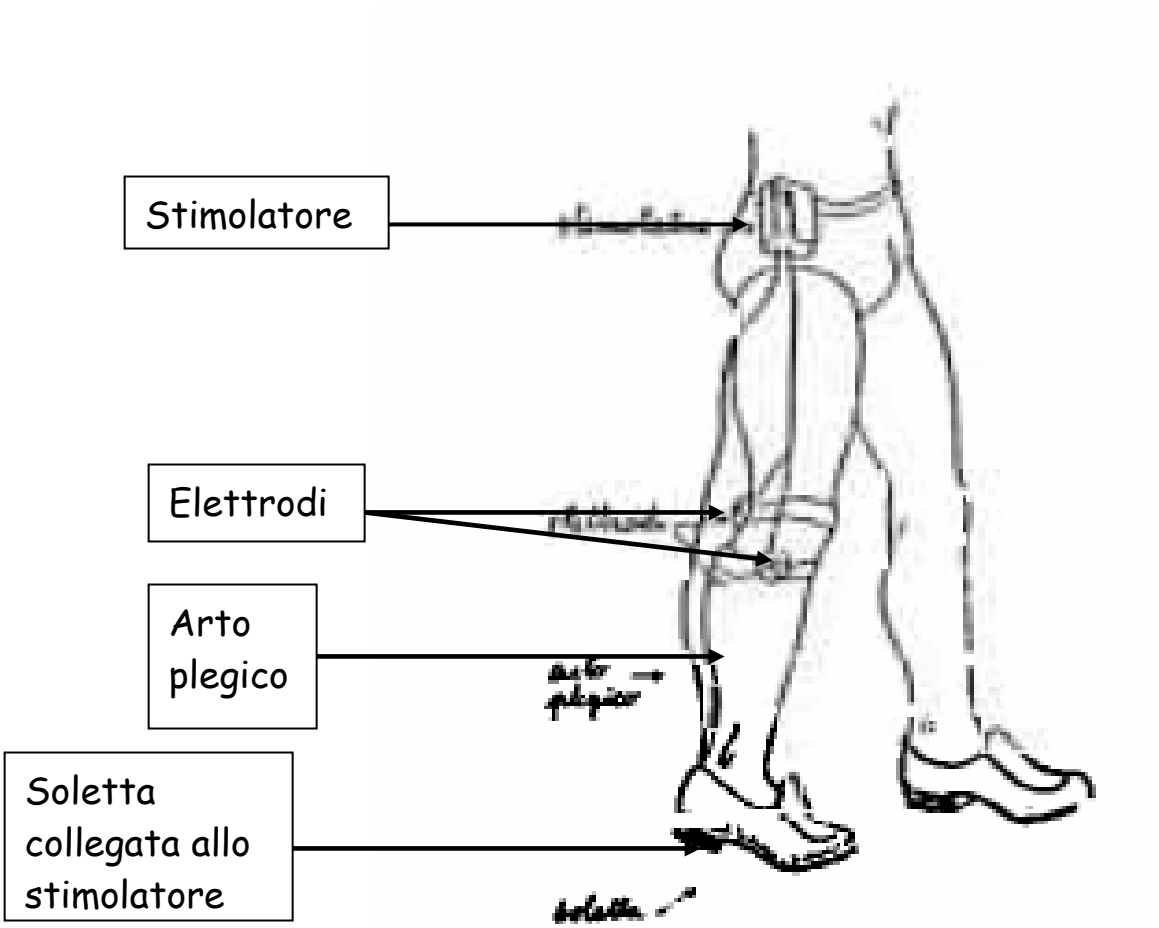


Fig. 3.5.2 Stimolatore peroneale

3.6 Sicurezza e manutenzione

Le norme di sicurezza che un apparecchio per elettroterapia deve soddisfare sono quelle comuni a tutte le apparecchiature collegate ad un paziente per mezzo di elettrodi.

- In particolare, la corrente di dispersione da elettrodi e da telaio non deve superare i 100μA.
- Poiché le tensioni e le correnti di funzionamento possono superare rispettivamente le decine di Volt e le decine di mA, è opportuno evitare che la zona cardiaca sia inclusa tra gli elettrodi. È inoltre opportuno evitare l'applicazione accidentale di stimoli quando gli elettrodi non sono applicati al paziente, o peggio, quando essi sono tenuti in mano da pazienti o da operatori.
- È opportuno verificare che il circuito d'uscita sia di tipo "flottante" cioè privo di riferimenti a terra, in modo tale che la corrente fluisca da un elettrodo all'altro, e non si chiuda a terra attraverso altre eventuali vie di collegamento tra paziente e terra. In caso di uscite multiple, ogni coppia di elettrodi deve essere elettricamente isolata da qualsiasi altra coppia, in modo da garantire che la corrente fluisca esclusivamente da un elettrodo all'altro della stessa coppie, e non tra elettrodi di coppie differenti.
- Gli elettrodi di stimolazione devono essere mantenuti in condizioni di estrema pulizia, e devono essere sostituiti quando appaiono sporchi, grigiastri o non più pulibili.. elettrodi sporchi, ossidati o incrostati di pasta conduttiva secca possono causare irritazioni cutanee ed ustioni nel loro punto di applicazione.
- Conduttori e cavi con guaina danneggiata possono costituire serio pericolo per l'operatore.
- È in generale pericoloso utilizzare apparecchiature di elettroterapia su portatori di pacemaker, ed è inoltre pericoloso verificare il funzionamento dell'apparecchio appoggiando le mani sui due elettrodi di una uscita. Se si desidera verificare il corretto funzionamento dell'elettromedicale è

opportuno appoggiare un'unica mano su entrambi gli elettrodi di stimolazione.

- Prima di utilizzare l'apparecchio, bisogna controllare che il voltaggio di rete sia uguale a quello impostato sull'apparecchio; è consigliabile, inoltre, distendere completamente il cavo di alimentazione per tutta la sua lunghezza, evitando, così, eventuali surriscaldamenti.
- Non bisogna utilizzare adattatori o prolunghe che non siano rispondenti alle vigenti norme di sicurezza, che superino i limiti delle portate in valore della corrente e che aumentino il valore della resistenza del conduttore di terra oltre 0.2Ω (CEI 62-5 art. 18). [12]

3.6.1 Norme Giuridiche e Direttive Comunitarie

Come tutti i tipi di elettromedicali, anche gli apparecchi per elettroterapia devono essere realizzati in conformità alla Direttiva Comunitaria 93/42/CEE del 14/06/93, recepita in Italia con il DL 46 del 24/02/97. In particolare:

- tali dispositivi devono soddisfare i requisiti essenziali richiesti dall'Allegato I della Direttiva 93/42/CEE;
- l'intero processo produttivo deve soddisfare le disposizioni applicabili dell'Allegato II della direttiva 93/42/CEE (Sistema completo di garanzia di qualità certificato in accordo alle Norme UNI EN ISO 9001 e ISO CEI EN 46001) per prodotti di classe IIa e IIb;
- la dichiarazione di conformità CE deve essere redatta secondo la procedura prevista dall'Allegato VII della direttiva 93/42/CEE, per prodotti di classe I.

Inoltre, tutte le apparecchiature in questione devono essere realizzate in conformità alle Norme CEI 62-5 e alle Norme particolari CEI 62-24, e devono essere conformi alla Direttiva CEE 89/336 per la compatibilità elettromagnetica recepita in Italia con il DL 476 del 04/12/92, e quindi dalla Norma CEI 62-50. [5]

3.6.2 Classificazione degli apparecchi per elettroterapia

Di seguito è riportata una tabella in cui cono indicati i criteri di classificazione in base alle Norme ed alle Direttive Comunitarie citate nel paragrafo precedente, e la classe di appartenenza dei dispositivi per elettroterapia.

Tipo di classificazione	**Classe di appartenenza**
Protezione contro i pericoli elettrici per apparecchi alimentati da sorgente elettrica esterna (rif. Norma CEI 62-5 art.5.1.a)	Classe I
Grado di protezione contro i contatti diretti e indiretti (rif. Norma CEI 62-5 art. 5.2.)	Parte applicata tipo BF (1)
Grado di protezione contro la penetrazione di liquidi (rif. Norma CEI 62-5 II ed. del 1991 art. 5.3.)	Comune involucro non protetto
Grado di sicurezza di impiego in presenza di una miscela anestetica	Non adatto all'uso in presenza di tali sostanze

infiammabile con aria o ossigeno o protossido di azoto (rif. Norma CEI 62-5 art. 5.5.)	
Apparecchio per funzionamento (rif. Norma CEI 62-5 art. 5.6.)	Continuo
Classificazione in base alla Direttiva 93/42/CEE (Allegato IX, regola9)	IIa [2]

Tabella 3.5.1: Classificazione degli apparecchi per elettroterapia

3.6.3 Manutenzione preventiva

Ogni giorno è consigliabile:

- verificare le condizioni di pulizia degli elettrodi e lo stato dei conduttori;
- lavare e asciugare gli elettrodi prima di riporre lo strumento dopo l'uso.

Ogni sei mesi:

- verificare lo stato della spina, del cavo di alimentazione e la continuità del conduttore di protezione;
- misurare la resistenza del collegamento di terra e verificare che rientri nei limiti stabiliti dalle norme CEI 62-5;

[1] Apparecchio di tipo BF (CEI 62-5 art. 5.2): apparecchio elettromedicale avente la parte applicata al paziente isolata da terra (flottante).

[2] Apparecchi di Classe IIa (Direttiva 93/42/CEE): dispositivi medici a medio rischio, dispositivi invasivi chirurgici per uso temporaneo,dispositivi utilizzati per la conservazione o la canalizzazione di sangue o la conservazione di organi e tessuti corporei.

- verificare le condizioni di manopole, interruttori, comandi e regolazioni esterne varie;
- verificare le condizioni del cavo di collegamento degli elettrodi e dei relativi connettori;
- controllare i parametri di stimolazione e verificare la corrispondenza con le indicazioni fornite dallo strumento;
- verificare lo stato di isolamento del circuito di uscita da terra.

Ogni anno:

- pulire con un aspirapolvere e/o aria compressa l'interno dello strumento ed osservare lo stato dei componenti elettronici e delle relative schede;
- sostituire i componenti o le schede che rechino segni di deterioramento;
- verificare il corretto funzionamento del selettore delle forme d'onda e dei parametri di stimolazione, verificare il corretto funzionamento del timer eventualmente presente che definisce la durata di ogni seduta di trattamento. [12]

Capitolo 4

Horizontal® Therapy

L'Horizontal® Therapy è una terapia di recente acquisizione nell'ambito dell'elettroterapia, brevettata dalla casa produttrice Hako-Med grazie agli studi del Dottor Achim Hansjürgens. Essa si basa sul principio fisico che un cambiamento bioelettrico in un tessuto cellulare umano comporta anche un cambiamento biochimico e viceversa, per cui, tramite stimolazione dei tessuti con correnti alternate a media frequenza (4-12kHz), è possibile raggiungere simultaneamente entrambi gli effetti, e, di conseguenza, ottenere contemporaneamente differenti risultati terapeutici con un buon margine di tollerabilità ed ampio spettro di applicazioni. La corrente alternata sinusoidale modulata a medie frequenze presenta buona tollerabilità sistemica in quanto, durante l'applicazione pratica, non viene suscitata fibrillazione ventricolare, né sussiste il pericolo di ustione o corrosione dei tessuti in prossimità o nei punti dove vengono applicati gli elettrodi. La Horizontal® Therapy lavora secondo questi principi ed appare in grado di influenzare e favorire i processi operativi dell'organismo.

4.1 Una nuova classificazione delle correnti

Gli studi che hanno portato al brevetto dell'Horizontal® Therapy partivano dalla constatazione della mancanza, nell'ambito della Medicina Fisica e Riabilitativa, di protocolli chiari e specifici in merito all'applicazione dell'elettroterapia. Pertanto, per semplificare le cose, si è innanzitutto pensato di proporre una nuova classificazione delle correnti tradizionalmente usate nell'elettroterapia medica, sulla base dei loro effetti terapeutici. Questo criterio di classificazione, chiamato EDT (Electric Differential Therapy) offre agli utenti le nozioni per poter scegliere la forma di terapia più adatta ai vari casi.

Sono stati pertanto individuati essenzialmente due classi di effetti nell'elettroterapia: la classe di correnti stimolanti, a cui sono dovuti gli effetti bioelettrici e la classe di correnti non stimolanti, ovvero correnti che inducono effetti biochimici.

Correnti con effetti bioelettrici (stimolanti): si tratta di correnti a bassa frequenza (1-1000Hz), la cui intensità viene continuamente incrementata e decrementata per ottenere l'effetto desiderato. Questi effetti sono considerati bioelettrici in quanto generano potenziali d'azione nelle cellule eccitabili.

Gli effetti terapeutici connessi a questo tipo di stimolazione sono:

- analgesia;
- stimolazione della muscolatura scheletrica (striata) e viscerale (liscia);
- accelerazione della re-innervazione;
- influenza sul flusso sanguigno e sul circolo linfatico;
- riduzione dell'edema;
- attivazione ed incremento del metabolismo.

Gli effetti terapeutici bioelettrici si ottengono variando la frequenza di stimolazione, imitando il funzionamento naturale del sistema del nervo simpatico. È noto, ad esempio, che con 10Hz si crea una vasocostrizione e con 100Hz una vasodilatazione.

Correnti con effetti biochimici (non stimolanti): sono correnti a media frequenza (1-100kHz) ed intensità costante che producono effetti prevalentemente biochimici ed elettrofisiologici in cellule eccitabili e non eccitabili, senza depolarizzazione e ripolarizzazione permanente (che andrebbe in contrasto con gli effetti stimolanti).

Gli effetti biochimici si possono identificare in :

- effetto relativo allo scuotimento;
- effetto relativo alla rotazione;

- effetto relativo all'oscillazione;
- effetto relativo all'oscillazione deformante;
- polarizzazione permanente;

con i possibili effetti terapeutici di:

- analgesia;
- azione anti-infiammatoria;
- influsso sul circolo sanguigno e linfatico;
- riduzione dell'edema;
- accelerazione dei processi rigenerativi;
- modulazione del metabolismo. [13]

4.2 Terapia "verticale" e terapia "orizzontale"

È stato dimostrato che per raggiungere un effetto fisiologico apprezzabile, aumentando la frequenza, deve aumentare proporzionalmente anche l'intensità dello stimolo elettrico.

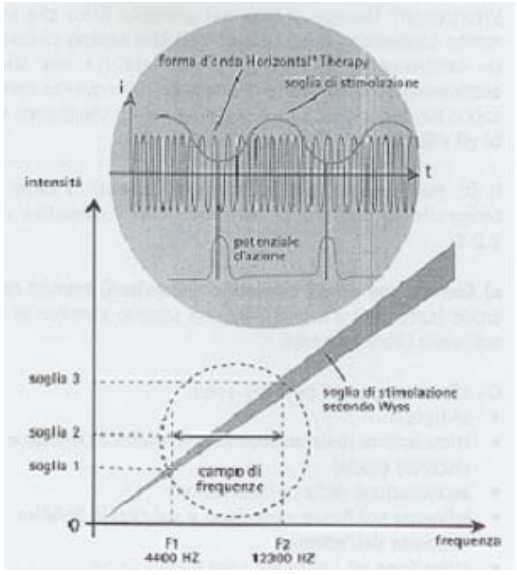


Fig. 4.2.1 Relazione intensità/frequenza: per ottenere un effetto fisiologico apprezzabile è necessario che l'intensità dello stimolo aumenti proporzionalmente alla frequenza.

Tutte le forme di elettroterapia stimolano le cellule incrementando e decrementando l'intensità elettrica a frequenze basse (1-1000Hz). Mantenendo costante l'intensità e stimolando a frequenze medie (1-100kHz) si ottengono invece diversi effetti terapeutici.

Tutte le forme di terapia condividono una di queste due caratteristiche. Si può dire che l'elettroterapia "tradizionale" stimola "verticalmente", per cui consente di ottenere gli effetti descritti solo separatamente con metodi applicativi differenti. Il meccanismo d'azione della "stimolazione verticale" può essere descritto con il grafico seguente.

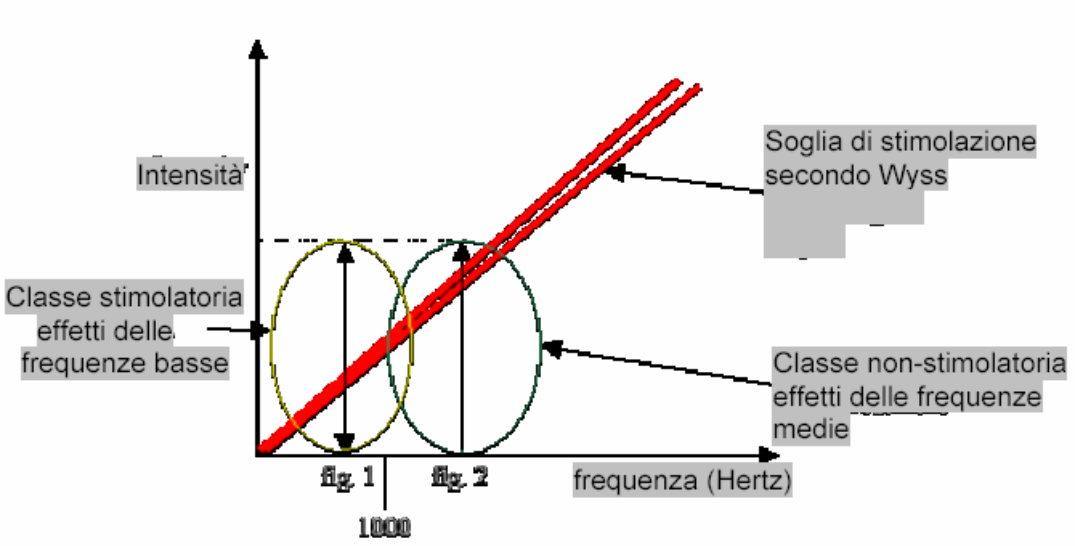


Fig. 4.2.2 Meccanismo d'azione della stimolazione "verticale"

La retta rossa nel grafico indica la soglia di stimolazione delle cellule. Questa soglia è definita più specificatamente come *l'intensità necessaria ad ogni livello di frequenza per generare un'azione fisiologia (potenziale d'azione) all'interno della cellula eccitata.* Superando questa soglia di stimolazione, si ottiene un potenziale d'azione. È altrettanto importante notare il rapporto tra frequenza ed intensità raffigurata nel grafico: crescendo la frequenza, in

maniera proporzionale deve crescere l'intensità, al fine di raggiungere l'effetto fisiologico.

Come indica l'arco su ogni linea verticale, entrambe le classi di terapia superano la soglia incrementando la loro intensità elettrica. Per ottenere gli effetti bioelettrici gli strumenti diminuiscono le intensità in continuazione e quindi iniziano da capo (Fig. 1). Per ottenere gli effetti biochimici si mantiene l'intensità costante secondo l'impostazione prescritta (Fig. 2). Possiamo quindi osservare graficamente perché nella stimolazione "verticale" l'intensità non può essere manipolata in due modi diversi simultaneamente per ottenere i due effetti desiderati.

L' Horizontal® Therapy utilizza un'impostazione dell'intensità elettrica costante, con frequenze della classe *biochimica* (sopra 1kHz): l'intensità elettrica resta costante, mentre viene modificata solo la frequenza.

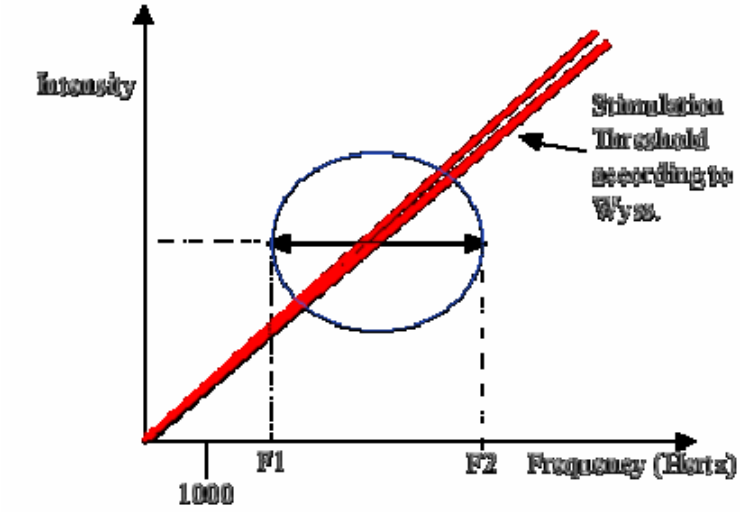


Fig. 4.2.3 Meccanismo d'azione della terapia "orizzontale"

Dal grafico in figura 4.2.3 si può vedere come nel punto F_2 (12.3kHz) il valore dell'intensità elettrica risulta essere lievemente al di sotto della soglia di stimolazione, producendo, così, solo effetti biochimici; mentre, nel punto

F_1 (4.4kHz), utilizzando la stessa intensità ma diminuendo la frequenza, si va ben oltre la soglia di stimolazione, producendo, così, simultaneamente agli effetti biochimici, anche potenziali d'azione e quindi effetti bioelettrici. In pratica, incrociando orizzontalmente la soglia di stimolazione per creare un potenziale d'azione, si mantiene costante l'intensità per la classe biochimica
Variando la frequenza si possono ottenere vari effetti bioelettrici. Per esempio, per ottenere un effetto di vasocostrizione, bisogna stimolare il nervo simpatico con una frequenza di 10Hz. Per ottenere questo effetto con la Horizontal® Therapy, si va a modulare la frequenza 10 volte al secondo da 4.4 a 12.3kHz e ritorno, superando orizzontalmente la soglia di stimolazione. Si riescono così ad ottenere azioni bioelettriche e biochimiche simultaneamente. [35]

4.3 Effetti biologici e terapeutici dell'Horizontal® Therapy

La stimolazione con correnti alternate riesce ad aumentare il metabolismo cellulare, ed influisce sul raggiungimento dei seguenti risultati terapeutici:

- maggiore efficienza nei processi di diffusione nelle cellule, prodotta dal cosiddetto "effetto di scuotimento" che ha luogo nella matrice extracellulare tra i vasi capillari e i tessuti riforniti di prodotti metabolici;
- effetti di biostimolazione sugli enzimi e substrati, che comporta una maggiore probabilità di incontro tra substrati ed enzimi nella posizione e con l'orientamento corretto. Questo favorisce un'azione biochimica che attiva il metabolismo;
- una riduzione del dolore al livello del tessuto grazie alla dispersione ed alla minor concentrazione dei trasmettitori locali del dolore e dello

stato infiammatorio, risultanti dall'azione biochimica dell'effetto di scuotimento;

- stimolazione dei recettori della membrana cellulare, che si manifesta con la formazione di uno dei principali mediatori intracellulari, l'adenosina ciclica (cAMP);
- attivazione della comunicazione intracellulare, con attivazione selettiva del canale cellula-cellula durante il passaggio della corrente attraverso i tessuti;
- azioni che modulano il flusso di informazioni tra le cellule che partecipano all'intero meccanismo di scuotimento, attivando così lo scambio di prodotti metabolici intracellulari;
- avvio dei fenomeni di risonanza nei cosiddetti "centri attivi degli enzimi". Con l'uso di un opportuno range di frequenze, questo stimola gli effetti metabolici;
- effetto sul potenziale di cellula nel campo compreso tra la soglia di stimolo e la soglia di depolarizzazione, che consiste nel dare avvio all'azione di eccitabilità transitoria (TEA) con un pattern di depolarizzazione-ripolarizzazione che di base non differisce dai naturali processi che hanno luogo all'interno della membrana cellulare. A differenza di quanto avviene con la terapia tradizionale, con l'HT sono le cellule stesse a regolare i periodi di potenziale d'azione, che non vengono imposti in modo sincrono, coerentemente con la frequenza di stimolazione.

Gli effetti depolarizzanti reversibili sulle strutture eccitate mediante l'applicazione della HT si manifestano con:

- blocco reversibile della conduzione nervosa;
- determinazione dell'effetto fisiologico di contrazione della fibra muscolare.

Nella HT le azioni volte a lenire il dolore sono caratterizzate da:

- effetto terapeutico immediato sottoforma di blocco della conduzione nervosa periferica, prodotto dalla depolarizzazione reversibile permanente;
- effetto analgesico centrale, come reazione allo stimolo irritante o risultato dell'azione dell'analizzatore, che determina un'azione eccitatoria transitoria della cellula (TEA);
- effetto terapeutico ritardato ma permanente per un periodo di tempo più lungo, con conseguente riduzione degli edemi ed azione analgesica periferica e centrale, attraverso la stimolazione del rilascio di endorfina nel sistema nervoso centrale. [14]

4.3.1 Classificazione degli effetti terapeutici in base alla frequenza elettrica di stimolazione

Gli effetti bioelettrici vengono indotti tramite risposte sincrone (potenziali d'azione) ad uno stimolo elettrico in una cellula eccitabile (fibre afferenti).
L'effetto è differente a seconda del range di frequenze impostato:

- **da 1 a 3Hz**, con l'intensità sopra la soglia dello stimolo motorio è possibile indurre rilassamento muscolare, miglioramento della motilità articolare, aumento della irrorazione sanguigna nei muscoli in attività;
- **a 10Hz**, con intensità appena percepibile, si ha vasocostrizione (può essere impiegata, ad esempio, per il trattamento degli edemi post-operatori e post-traumatici), diminuzione del prurito, riduzione della cefalea e delle emicranie vasomotorie (anche in fase acuta);
- **a 20Hz**, con una intensità elevata (ben oltre la soglia di stimolazione) si ottiene un aumento della massa muscolare;
- **a 100Hz**, con intensità appena percepibile si ottengono effetti analgesici (per la teoria del Gate Control) e vasodilatazione; alla stessa

frequenza, ma con un'intensità superiore alla soglia motoria, si ha un aumento della massa muscolare;

- **passando lentamente da 1 a 100Hz** (impulsi in crescita e in decrescita) con bassa intensità di corrente, è possibile ottenere training di vasi sanguigni, riduzione degli edemi, lenimento dei dolori ed accelerazione del consolidamento osseo.

A frequenze superiori gli effetti sono prevalentemente di tipo biochimico, in particolare:

- **la 4.357kHz** è la frequenza più bassa impegnata ed è l'applicazione più sicura, infatti può comportare pericolo di ustione solo con elettrodi difettosi o eccessivamente piccoli. Con intensità appena percepibile induce la riduzione degli edemi e dei gonfiori, una diminuzione duratura del dolore, la guarigione delle ferite, un aumento del metabolismo. Aumentando l'intensità , fino al limite di sopportabilità, si può ottenere un blocco temporaneo della conduzione nervosa (riduzione del dolore e vasodilatazione);
- **a 12.346kHz** si raggiunge la massima frequenza impegnata. Con questa applicazione il pericolo di ustione è più elevato, non solo con elettrodi danneggiati, ma anche con elettrodi al di sotto dei 100mm^2. Con intensità lieve si ottiene un'accelerazione del consolidamento delle fratture ossee ed un aumento del metabolismo. [12]

4.4 Funzionalità speciali delle apparecchiature per Horizontal® Therapy

4.4.1 "SCAN" Scansione orizzontale

Un importante vantaggio terapeutico degli apparecchi della Horizontal® Therapy è dato dal programma SCAN, con il quale è possibile cambiare lentamente la frequenza, mantenendo l'intensità costante, in piccoli passi da un quarto di tono, orizzontalmente da 4.357kHz a 12.346kHz e ritorno. Tale cambiamento viene percepito dal paziente in modo particolarmente piacevole e rilassante.

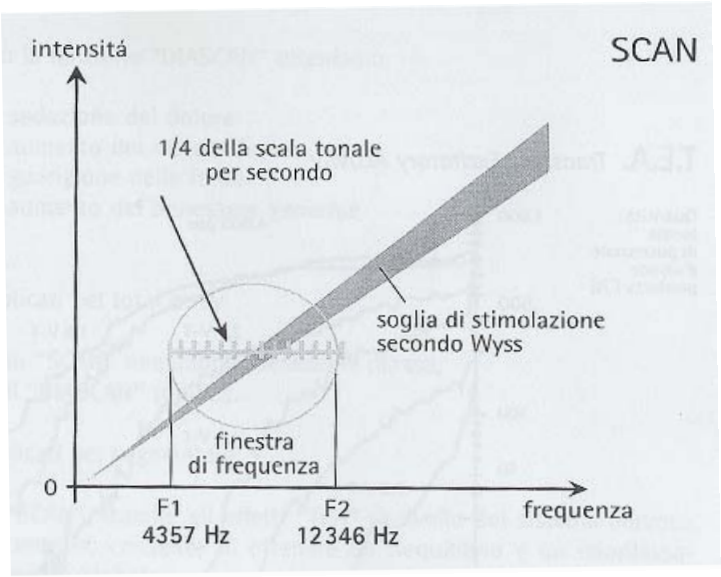


Fig. 4.4.1 Programma di trattamento a scansione orizzontale

La lenta variazione di frequenza ha un duplice scopo: da una parte, infatti, consente di aumentare la probabilità di provocare fenomeni terapeutici di risonanza periferica in ambito cellulare e macromolecolare; d'altra parte, la scansione orizzontale attiva nella cellula delle risposte naturali transitorie dette TEA (Transient Excitatory Activity). Queste intervengono quando si stimola la cellula con corrente alternata a media frequenza e intensità costante, sopra la soglia percettiva. Deve essere percepita soggettivamente

come un pizzicore decrescente. Il dolore diminuisce essenzialmente a livello centrale, secondo il principio della reazione contraria, e crea un rilassamento dei muscoli e dei tessuti molli.

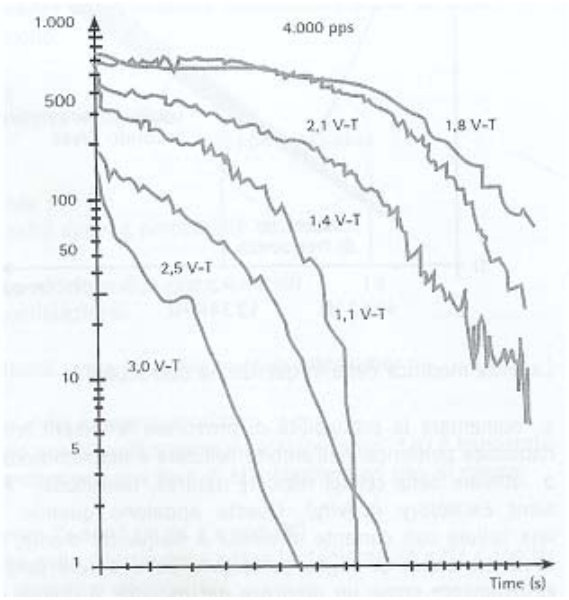


Fig. 4.4.2 Nel grafico è riportata la quantità media di impulsi prodotti, al secondo, in una singola fibra, come risultato di un segnale bloccante, da 4kHz, per stimolazioni a differenti densità.

Il programma SCAN genera sulle fibre nervose una serie irregolare di potenziali d'azione riconducibili alla TEA. Per la diminuzione del dolore sono, in questo caso, molto importanti le fibre afferenti che trasmettono gli impulsi TEA al sistema nervoso centrale e riducono, con la produzione di endorfine e tramite un effetto "coprente", chiamato anche "reazione contraria", l'intensità della percezione del dolore.

Con la funzione SCAN si può, dunque, ottenere:

- diminuzione del dolore tramite gli effetti TEA (effetto centrale);
- aumento del metabolismo;
- effetti di risonanza;
- aumento del benessere generale. [13]

4.4.2 Funzione DIASCAN (Scansione Diagonale)

Con tale funzione speciale è possibile, come nel caso precedente, variare lentamente la frequenza a piccoli passi di un quarto di tono, ma, a differenza di quanto accade con la funzione SCAN, in cui l'intensità rimane costante, in questo caso l'intensità aumenta e diminuisce in maniera proporzionale alla frequenza. In tal modo è possibile introdurre nel trattamento una potenza maggiore; inoltre, mantenendo costante la distanza rispetto alla soglia, il paziente non avverte l'aumento d'intensità.

Con la funzione DIASCAN si riesce ad ottenere:

- sedazione del dolore;
- aumento del metabolismo;
- guarigione delle ferite;
- aumento del benessere generale.

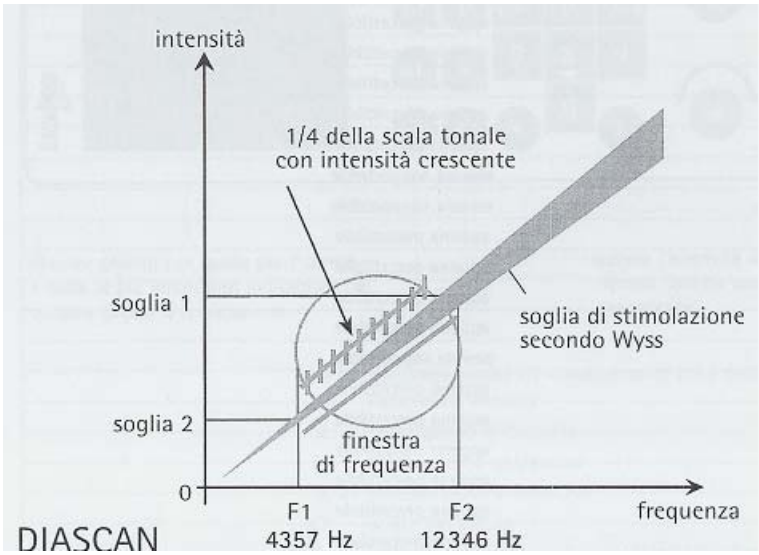


Fig. 4.4.3 DIASCAN: Programma di scansione diagonale

DIASCAN, quindi, agisce a livello periferico ed in profondità, mentre SCAN interviene a livello del sistema nervoso centrale e consente di ottenere un riequilibrio ed un miorilassamento globale. [13]

4.4.3 Ionoforesi non polare

Con qualsiasi programma terapeutico della Horizontal® Therapy è sempre possibile effettuare, parallelamente al trattamento locale (es. artrosi), anche una ionoforesi. I due metodi vengono usati per accelerare l'assimilazione di principi attivi attraverso la pelle. In particolare, è possibile utilizzare uno speciale trattamento detto "Ionoforesi non polare".

Come già visto (cfr. cap. 2) la ionoforesi tradizionale sfrutta la forza elettrica creata da un campo elettrico costante per veicolare principi attivi attraverso la pelle. La ionoforesi non polare, invece, sfrutta gli effetti dovuti allo scuotimento di particelle cariche prodotto da campi elettromagnetici alternati. Si chiama "non polare" in quanto non viene sfruttata la differenza di polarità degli elettrodi per veicolare il farmaco all'altro polo, ma si può distribuire il farmaco, indipendentemente dalla sua polarità, anche su elettrodi diversi.

L'unica condizione per il funzionamento della Ionoforesi non-polare è che il grado di concentrazione dei principi attivi nel farmaco sia più alto rispetto alla pelle, alla linfa della pelle e al tessuto sottocutaneo.

L'efficacia della Ionoforesi non polare si basa sull'accelerazione di processi di diffusione, tramite correnti elettriche alternate. La distribuzione degli ioni in un campo magnetico alternato è molto varia: alcuni riescono a percorrere ampi spazi, altri riescono a muoversi poco, altri ancora meno, in quanto il loro avanzamento viene rallentato da ioni di carica opposta o viene frenato da altri ostacoli. Per questo, il trattamento di un'area di tessuto con campi magnetici

alternati a diversa concentrazione di ioni comporta una crescente miscelazione, con un livellamento delle differenze di concentrazione.
Gli effetti della ionoforesi non polare ricavati dalle prime sperimentazioni sono:

- la normalizzazione sia di sostanze elettricamente cariche (ioni), sia dell'acqua nei tessuti trattati (elettro-osmosi). Questo comporta localmente una riduzione della concentrazione delle sostanze tossiche, origine di dolori e di infiammazioni;
- il miglioramento dei processi di diffusione nei liquidi intra ed extra cellulari. Ciò si ottiene per un aumento dello scambio di sostanze tra tessuti extra vasali e lo spazio intra vasale, nonché per un miglioramento nei processi di assorbimento. Ecco perché diventa importante nel trattamento degli edemi infiammatori e post-traumatici, oltre che degli ematomi.

Le applicazioni terapeutiche hanno rivelato i seguenti vantaggi della ionoforesi non polare rispetto alla ionoforesi tradizionale:

- I due o quattro elettrodi possono essere attivati contemporaneamente;
- l'applicazione non può generare alcun pericolo o dolore. Si rileva invece che è addirittura piacevole;
- la polarità degli ioni dei principi attivi non ha nessuna importanza;
- nel caso di farmaci con ioni che sono caricati positivamente e negativamente, si ha un' introduzione contemporanea di tutti e due i tipi di ioni;
- è possibile lavorare con intensità più alta;
- il tempo di trattamento può essere più lungo o teoricamente senza limite;

- dai due vantaggi precedenti risulta, logicamente, che il trattamento può essere fatto con più efficacia;
- non c'è pericolo di ustione;
- nel caso di un'interruzione del flusso della corrente, causato da un guasto nella linea oppure da una caduta di un elettrodo a causa di un movimento accidentale, non si verificano colpi di corrente e contrazioni non desiderate, come potrebbe accadere con la corrente continua;
- l'uso di farmaci ad alta concentrazione di principi attivi di ioni non è una controindicazione; l'uso di questi preparati con un'alta concentrazione di principi attivi di ioni, fortemente acidi oppure alcalini, è nella ionoforesi "tradizionale", per motivi elettrochimici, particolarmente rischioso. Questo perché nella ionoforesi con la corrente continua, il grado acido o alcalino viene abbassato o alzato ulteriormente sotto l'elettrodo che "lavora". Cioè modifica ulteriormente il valore del pH, aumentando così il pericolo di una corrosione chimica, con relativa ustione;
- i preparati dei principi attivi possono essere spalmati direttamente tra l'elettrodo e la pelle, risparmiando così in quantità. Non è necessario l'uso di tessuti di viscosa, di pellicole o della carta per la ionoforesi;
- impiantati di metallo o di materie plastiche e protesi non sono una controindicazione. Non creano un aumento dell'acidità o alcalinità, (come nella corrente continua - l'elettrolisi) e non c'è il pericolo di una corrosione degli impianti;
- è possibile lavorare contemporaneamente con diverse paia di elettrodi, senza dover differenziare tra anodo e catodo;
- la promozione del nutrimento naturale del tessuto nell'area tra gli elettrodi;

- promozione dello smaltimento dei residui del metabolismo e di sostanze, che, localmente, possono essere troppo concentrate o addirittura depositate (p.e. acido urico e sale calcare);
- con la Ionoforesi non-polare va persa una minor quantità di principi attivi che hanno attraversato la pelle. Nella Ionoforesi "tradizionale", una certa quantità di principi attivi viene subito "lavata", in quanto la corrente continua causa una vasodilatazione. [35]

4.4.4 Blocco della conduzione nervosa

Con le correnti dell'Horizontal® Therapy è possibile creare, nelle cellule eccitabili, una depolarizzazione permanente che, tuttavia, non danneggia le cellule in quanto si tratta di un fenomeno reversibile. In tal modo è possibile indurre un effetto analgesico che si manifesta durante l'applicazione della corrente e permane poco oltre il tempo di trattamento. Tale effetto è, però, cumulativo: con ogni seduta aggiuntiva si prolunga nel tempo questa elettroanalgesia grazie ad un fenomeno detto effetto PHD (post hyperactivity depression).

Per ottenere tali risultati è necessario posizionare opportunamente gli elettrodi; se ne utilizzano due: uno più piccolo, che funge da elettrodo attivo, ed un contro-elettrodo di dimensioni maggiori. Sul punto in cui si desidera creare un "blocco" temporaneo della conduzione nervosa si applica l'elettrodo più piccolo, mentre l'altro elettrodo va posto ad una distanza di almeno 10cm.

L'intensità della corrente va impostata fino al limite di sopportabilità del paziente: una limitazione può essere, eventualmente, la sensazione eccessiva di dolore (prima del blocco), oppure una contrazione troppo forte della zona trattata [13].

4.4.5 Trattamento strumentale pre-manipolativo

Alcuni studi condotti dal gruppo di ricerca Gemmer Italia ha evidenziato alcune possibilità applicative con la Horizontal® Therapy ottenute tramite l'utilizzo di alcune scale di frequenza, o frequenze singole, che si sono rivelate efficaci nella preparazione del paziente prima di una manipolazione selettiva.

Le funzioni individuate vengono identificate con il qualificativo Hako-manipolazione. Si tratta di una manipolazione preceduta da un trattamento strumentale a frequenze definite, allo scopo di ottenere una decontratturazione specifica ed una facilitazione all'atto manipolativo mirato e senza conseguenze sul delicato equilibrio neuro-recettoriale dell'articolazione da mobilizzare.

Tale funzione è particolarmente indicata per i soggetti iperalgici, quelli con patologie datata e/o con continuata attività sportiva o lavorativa e che per questo presentano contratture irriducibili. [13]

4.5 Horizontal® Therapy: l'apparecchiatura

L'Horizontal® Therapy è un trattamento brevettato dalla casa produttrice Hako-Med, e pertanto è supportato soltanto dalle apparecchiature prodotte da questa ditta.

In particolare, l'apparecchio che offre l'utilizzo di questa nuova terapia è il Pro ElecDT® 2000.

L'apparecchio è costituito da un modulo fondamentale comprendente il pannello frontale, dal quale è possibile impostare i vari trattamenti, e due canali completamente indipendenti che consentono di trattare

simultaneamente il paziente in due aree diverse con programmi diversi, oppure di trattare due pazienti contemporaneamente.
Il dispositivo ha gia reimpostati in memoria i programmi specifici di trattamento relativi a varie patologie muscolo-scheletriche, per cui è possibile sia scegliere tra questi programmi preimpostati, oppure impostare dei programmi individuali.
Per impostare correttamente una seduta di lavoro occorre soltanto:

- posizionare opportunamente gli elettrodi;
- scegliere il programma terapeutico;
- regolare l'intensità.

L'intensità viene definita in base alla soglia individuale di percezione del paziente:

- **nonP:** si rimane appena sotto la soglia sensibile;
- **P:** appena percepibile. Il paziente avverte un lieve e non fastidioso formicolio;
- **chP:** chiaramente percepibile. Il paziente avverte chiaramente il formicolio, tuttavia non viene superata la soglia motoria;
- **M:** sopra la soglia motoria. Si supera chiaramente e visibilmente la soglia motoria;
- **fM:** fortemente oltre la soglia motoria. L'intensità viene portata oltre la soglia motoria fino al limite di sopportabilità. [13]

4.5.1 Dati tecnici

Sistemi di applicazione: 4 uscite separate per l'applicazione della corrente.

Boccole d'uscita: 2 boccole d'uscita a 5 poli per la connessione degli elettrodi; 2 boccole d'uscita a 5 poli, sul retro, per il collegamento dell'apparecchio vacuum.

Regolatori: 4 regolatori per l'impostazione dell'intensità.

Forma e frequenza della curva d'uscita: corrente alternata sinusoidale can frequenza compresa tra 4.357e 12.346kHz e 17 frequenze del segnale modulato.

Intensità nominale: 0-100mA a 500Ω, corrispondente a 0-5000mW a 500Ω.

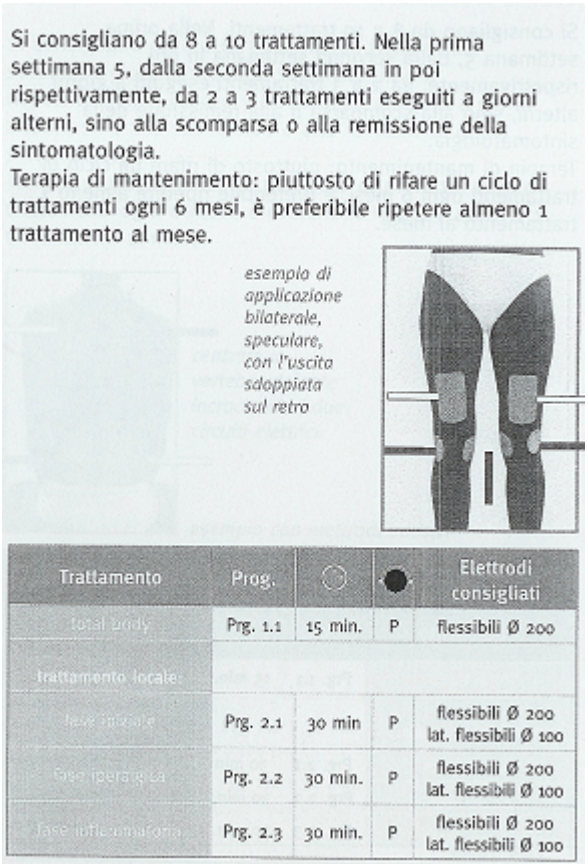
Potenza d'uscita nominale: 5VA

Classificazione: classe di protezione I, tipo BF

Tensione di alimentazione: 85V-260V/ 47-63Hz. 150VA

Dispositivi di sicurezza: l'apparecchio è dotato di un dispositivo di sicurezza che garantisce l'interruzione della corrente negli elettrodi, anche se i regolatori d'intensità non sono in posizione 0, dopo un'interruzione dell'alimentazione di rete. È presente, inoltre, un dispositivo di sicurezza elettronico a garanzia che l'intensità della corrente di trattamento non possa mai superare il limite di 100mA, ma rimanga costante su questo livello anche se il regolatore d'intensità viene impostato al massimo.

Accessori in dotazione: l'apparecchio porta in dotazione varie coppie di elettrodi di diversi materiali e dimensioni, fasce elastiche, cavetti per il collegamento ai canali di uscita, un manuale d'uso comprendente le tavole dei programmi preimpostati, con indicazioni sull'intensità e la durata della seduta, relative balle patologie trattabili. [13]



Si consigliano da 8 a 10 trattamenti. Nella prima settimana 5, dalla seconda settimana in poi rispettivamente, da 2 a 3 trattamenti eseguiti a giorni alterni, sino alla scomparsa o alla remissione della sintomatologia.
Terapia di mantenimento: piuttosto di rifare un ciclo di trattamenti ogni 6 mesi, è preferibile ripetere almeno 1 trattamento al mese.

esempio di applicazione bilaterale, speculare, con l'uscita sdoppiata sul retro

Trattamento	Prog.	○	●	Elettrodi consigliati
total body	Prg. 1.1	15 min.	P	flessibili Ø 200
trattamento locale				
fase infiammatoria	Prg. 2.1	30 min	P	flessibili Ø 200 lat. flessibili Ø 100
fase ipercinetica	Prg. 2.2	30 min.	P	flessibili Ø 200 lat. flessibili Ø 100
fase ipofunzionale	Prg. 2.3	30 min.	P	flessibili Ø 200 lat. flessibili Ø 100

Fig. 4.5.1Protocollo di terapia Horizontal® Therapy per il trattamento dell'artrosi del ginocchio. La tavola fornisce indicazioni sul posizionamento degli elettrodi, sulla durata e la frequenza delle sedute, sull'intensità della corrente e sui programmi da selezionare per effettuare lo specifico trattamento.

4.6 Tollerabilità, precauzioni e norme di sicurezza

4.6.1 Tollerabilità delle correnti alternate

I pericoli connessi all'impiego di correnti alternate sono minori rispetto a quelli legati ad altri tipi di corrente elettrica. Tuttavia, come per tutte le

terapie, (medicamentose o fisiche), l'aumento dell'intensità di corrente può costituire un pericolo per il paziente. Il pericolo di ustione, ad esempio, esiste solamente se vengono utilizzati elettrodi troppo piccoli, oppure, quando il paziente presenta turbe della sensibilità.

Inoltre, le correnti a media frequenza presentano una maggiore tollerabilità rispetto ad altre correnti impiegate nella medicina bioelettrica.

In generale, per evitare ustioni all'interfaccia tra elettrodi e pelle, è bene rispettare le precauzioni e le indicazioni che seguono:

- il pericolo di ustione aumenta con l'aumentare della frequenza. Nella parte alta del range di frequenze utilizzato (4-12kHz) si tollera un'intensità maggiore. Questo si verifica quando, in uno stesso lasso di tempo, si inserisce un'energia più elevata. La sensazione di irritazione, originata dall'effetto TEA, diminuisce in più breve tempo con l'uso di alte frequenze medie. Ed anche il blocco dei nervi viene raggiunto in minor tempo;
- se il paziente ha una sensibilità "normale", non è possibile causare ustioni con elettrodi grandi (diametro maggiore di 4-5cm);
- con elettrodi piccoli non si deve aumentare l'intensità dopo aver raggiunto il limite di tolleranza.

Queste regole sono importanti soprattutto nell'applicazione di correnti a frequenze medie non modulate, ed hanno lo scopo di "bloccare" localmente la conduzione nervosa. [13]

4.6.2 Controindicazioni

- I pazienti portatori di stimolatori cardiaci non possono essere trattati con correnti elettriche, neppure nelle regioni del corpo lontane dal cuore.

- L’addome, durante la gravidanza, non deve essere compreso nell’area di trattamento (zona del passaggio della corrente), perché può accelerare la comparsa delle doglie e causare parto prematuro.
- Nessun trattamento in pazienti con patologie tumorali.
- Non è ammesso nessun tipo di applicazione di correnti elettriche in caso di malattie virali e batteriche acute e febbrili.

In caso di infezioni batteriche acute circoscritte non deve essere applicato nessun tipo di corrente. [13]

Capitolo 5

Confronto tra Horizontal® Therapy ed elettroterapia tradizionale

L'elettroterapia è parte integrante di quella branca della Medicina Fisica e Riabilitativa che va sotto il nome di *terapia fisica e strumentale*.

Per terapia fisica si intende, in generale, un insieme di mezzi e servizi utilizzati con lo scopo di consentire ai pazienti di sviluppare, mantenere e ripristinare il movimento e le abilità funzionali nel corso della vita. Essa include l'erogazione di servizi adatti alle circostanze in cui il movimento e le funzioni motorie sono minacciate da processi di invecchiamento, traumi o insulti patologici, intervenendo nei vari momenti di prevenzione, trattamento e riabilitazione. Elemento fondamentale è l'interazione tra medico, terapista, centro di terapia, pazienti e famiglie nell'ambito del processo di valutazione del movimento e delle capacità.

Fino a non molti anni fa, il termine "terapia fisica", o anche "fisioterapia" veniva utilizzato generalmente per indicare tutto ciò che avesse a che fare con il processo di ripresa funzionale conseguente ad un trauma o a patologie invalidanti che comprendevano l'apparato locomotore. I recenti progressi nel settore della medicina riabilitativa, affiancati dal perfezionamento di alcune tecniche chirurgiche e dalla disponibilità di nuove terapie farmacologiche, hanno reso necessaria una distinzione più precisa dei vari momenti che costituiscono il percorso riabilitativo del paziente. In particolare, quindi, con l'espressione *terapia fisica strumentale* si intende la somministrazione di energie fisiche a scopo terapeutico.

5.1 Fasi del processo di terapia fisica

Il processo terapeutico consiste in alcune fasi successive che vedono l'interazione del medico, del terapista e del paziente: l'assessment, la diagnosi, la progettazione, l'intervento e la valutazione.

- L'*assessment* comprende sia l'**esame** di individui o gruppi con danni reali o potenziali, limitazioni funzionali, disabilità, o altre condizioni fisiche, sulla base della storia clinica, di screening e di specifici test e misure, sia la **valutazione** dei risultati degli esami attraverso un'analisi ed una sintesi all'interno di un processo di ragionamento clinico.
- La *diagnosi* nasce dall'esame e dalla valutazione, ed è il risultato del processo di ragionamento clinico. Essa può essere espressa in termini di disfunzioni del movimento, o in termini di danni, limitazioni funzionali, abilità/disabilità o sindromi.
- La *progettazione* comincia con la definizione delle esigenze di intervento, e normalmente conduce allo sviluppo di un piano di intervento, includendo la definizione di obiettivi misurabili negoziati in collaborazione con il paziente, la famiglia o il centro di assistenza. In alternativa, può portare ad altri riferimenti, per quei casi in cui la terapia fisica risulta inappropriata.
- L'*intervento* è effettuato e modificato per raggiungere gli obiettivi predefiniti e può includere la movimentazione manuale, agenti fisici, elettroterapeutici e meccanici, l'addestramento funzionale, la fornitura di sussidi e di apparecchi, l'educazione e la formazione del paziente, la documentazione, la coordinazione e la comunicazione. L'intervento può anche essere prevenzione dei danni, delle limitazioni funzionali e delle inabilità, nonché la promozione ed il mantenimento di salute, qualità di vita ed idoneità per i soggetti di tutte le età.
- La *valutazione* rende necessario il riesame allo scopo di valutare i risultati ottenuti. [36]

Le applicazioni dell'elettroterapia fanno dunque parte di un preciso programma di riabilitazione del paziente, pianificato dal medico fisiatra ed

attuato da fisioterapisti ed operatori sanitari all'interno dei centri di riabilitazione.
Nel seguito verranno analizzati alcuni protocolli terapeutici relativi all'utilizzo delle tradizionali tecniche elettroterapiche per delle specifiche patologie muscolo-scheletriche, confrontando poi i risultati con quelli ottenuti, negli stessi casi clinici, attraverso l'Horizontal® Therapy.

5.2 Patologie muscolo-scheletriche

Con l'espressione "malattie muscolo-scheletriche" si intende un complesso di disturbi e patologie a carico dei sistemi ed apparati osteoarticolare, muscolo-tendineo, nervoso e vascolare, che possono essere causati e/o aggravati da sovraccarico biomeccanico lavorativo delle zone colpite.
Le patologie dell'apparato muscolo-scheletrico sono la causa più nota e più comune di malattie croniche ad alto potenziale di disabilità ed handicap. Le patologie articolari, la lombalgia, l'osteoporosi e i traumi degli arti dovuti a incidenti comportano un enorme impatto sull'individuo, sulla società e sui sistemi di assistenza sanitaria e sociale.
Secondo alcuni studi eseguiti a cura del **Centro Nazionale di Epidemiologia** dell'**Istituto Superiore di Sanità** si può stimare che nel mondo ora siano centinaia di milioni le persone che sono affette da queste patologie ed è ragionevole ritenere che in futuro questo numero sia destinato ad aumentare. Si prevede infatti che nel 2020 il numero delle persone che avranno un'età superiore a 50 anni sarà il doppio di quello attuale. Ecco alcuni esempi per dare un'idea della dimensione del problema:

- il mal di schiena è la seconda causa di assenza di lavoro;

- nel 2010 il 25% della spesa sanitaria nei paesi in via di sviluppo sarà speso per cure dovute a traumi;
- il numero di fratture dovute all'osteoporosi è almeno raddoppiato nell'ultimo decennio;
- le patologie articolari riguardano la metà di tutte le condizioni croniche che affliggono gli ultrasessantacinquenni. [37]

Si tratta, dunque, di patologie croniche, spesso anche invalidanti, che possono incidere negativamente non solo sullo stato di salute, ma anche sulle condizioni socio-lavorative dei pazienti, e, in generale, sulla qualità della vita.
Non esistono attualmente dei protocolli specifici per il trattamento delle patologie muscolo-scheletriche. L'unico documento ufficiale a cui si può fare riferimento è costituito dai LEA (Livelli Essenziali di Assistenza) emanati col DPCM del 29/11/2001 e fatti propri dalle Regioni Italiane.
In riferimento ai LEA emanati dalla Regione Campania si possono citare le seguenti indicazioni concernenti il settore della Medicina Fisica e Riabilitativa:
Elettroterapia antalgica (cod. 93.39.4, correnti diadinamiche nda*) ammissibile nei LEA per:*

- lombalgia acuta e cronica;
- dolore scapolo-omerale dell'emiplegico/emiparetico;
- osteoartrite del ginocchio, polso, gomito tibio tarsica;
- cervicalgia acuta e cronica;
- osteoartrite delle articolazioni superficiali gomito, polso, tibio tarsica;

ciclo di 10 sedute
Elettroterapia antalgica (cod. 93.39.5, TENS nda*) ammissibili nei LEA per:*

- lombalgia acuta e cronica;
- dolore scapolo-omerale dell'emiplegico/emiparetico;
- osteoartrite del ginocchio, polso, gomito tibio tarsica;

- cervicalgia acuta e cronica;
- osteoartrite delle articolazioni superficiali gomito, polso, tibio tarsica;

ciclo di 10 sedute. [25]

All'interno di questi documenti, come si può notare, vengono fornite delle indicazioni assolutamente generiche, per cui è precipuo compito del medico fisiatra definire, caso per caso, il programma riabilitativo più adatto alle specifiche condizioni del singolo paziente, stabilendo i modi e i tempi di applicazione della terapia farmacologia, strumentale e fisioterapica.
Di seguito vengono riportati tre studi sperimentali effettuati per testare l'efficacia terapeutica dell'Horizontal® Therapy nel trattamento di alcune patologie osteoarticolari, confrontando gli effetti della nuova terapia con quelli ottenuti con le tecniche tradizionali.

5.3 La gonartrosi: il trattamento con terapia Horizontal® Therapy. Studio multicentrico.

L'artrosi è una patologia degenerativa delle articolazioni caratterizzata da progressiva distruzione della cartilagine articolare, sclerosi ossea e proliferazione osteocartilaginea particolare che si manifesta clinicamente come dolore esacerbato dal movimento (all'inizio localizzato ad una o poche articolazioni) e progressiva impotenza funzionale.
La terapia dell'osteoartrosi è multidisciplinare. Qualora l'articolazione artrosica non sia molto dolente è utile un esercizio graduale per mantenere la mobilità. Gli attacchi particolarmente dolorosi vengono trattati con l'assunzione di farmaci quali salicilati o altri tipi di Antinfiammatori Non Steroidei (FANS).

L'obiettivo dell'intervento riabilitativo è, in questo caso, il ripristino della funzione e la possibilità di recuperare un comportamento motorio nuovo e più evoluto. Accanto a ciò, c'è il problema della sintomatologia dolorosa, più complessa da gestire soprattutto per la molteplicità delle strutture in cui si può verificare e delle cause che ne sono all'origine. Per questo, accanto alla terapia farmacologia, viene utilizzata una terapia a base di correnti elettriche specifiche ad azione analgesica.

Lo scopo dello studio multicentrico riportato, effettuato dal *CUMS dell'Università "G. D'Annunzio" di Chieti* e dalla *Scuola di Specializzazione in Medicina Fisica e Riabilitativa dell'Università degli Studi di Catania* coordinate dalla *Cattedra di Medicina Fisica e Riabilitativa dell'Università "G. D'Annunzio" di Chieti*, è stato quello di verificare l'utilizzabilità e l'efficacia dell'Horizontal® Therapy in un programma di rieducazione funzionale per un campione di soggetti affetti da artrosi del ginocchio di grado moderato.

Materiali e Metodi. Per la sperimentazione sono stati selezionati e studiati per 12 mesi 200 soggetti, 100 maschi e 100 femmine, di età media 62 anni (56-74), ai quali era stato diagnosticato un processo artrosico al ginocchio di grado moderato.

La modalità applicativa scelta, sia per quanto riguarda le frequenze che la posizione degli elettrodi è stata suggerita dalle tavole di utilizzo dell'apparecchio.

Nei casi analizzati è stato proposto l'uso dell'Horizontal® Therapy attraverso dei cicli di 10 sedute. Le frequenze utilizzate sono quelle già presenti nei programmi memorizzati nell'apparecchio Pro ElecDT® 2000 nella cartella "Artrosi". Tra le sottocartelle presenti, le due utilizzate per lo studio sono state: "Artrosi con forti dolori" in 125 casi e "Artrosi con forti gonfiori" in 65 casi ove presente il versamento.

I risultati sono stati valutati nel breve periodo, ossia sino a 1 mese dopo il trattamento, nel medio, sino a 6 mesi, e nel lungo periodo, sino a 12 mesi dal termine del trattamento. I parametri che sono stati presi in considerazione a fini valutativi sono l'indice soggettivo di dolore attraverso la scala di valutazione VAS, la variazione nell'assunzione dei farmaci antidolorifici in seguito elle terapie eseguite ed il miglioramento del range articolare.

Analisi dei risultati. I risultati, in termini di variazione nell'assunzione dei farmaci, sono stati schematizzati nelle seguenti tabelle.

Farmaci utilizzati prima	**Numero di giorni**	**Numero pazienti**
Nimesulide	2/die	64
Piroxicam	2/die	52
Ketoprofene	1/die	30
Diclofenac	1/die	40
Salicilati	1/die	14

Tabella 5.3.1: Farmaci utilizzati prima del trattamento con Horizontal® Therapy

Farmaci utilizzati dopo	**Numero di giorni**	**Numero di pazienti**
Nimesulide	-	0
Piroxicam	-	0
Ketoprofene	-	0
Diclofenac	-	0
Salicilati	-	0

Tabella 5.3.2: Farmaci utilizzati dopo il trattamento con Horizontal® Therapy

Farmaci utilizzati dopo 3 mesi	**Numero di giorni**	**Numero di pazienti**
Nimesulide	-	20
Piroxicam	-	26
Ketoprofene	-	21
Diclofenac	-	18
Salicilati	-	2

Tabella 5.3.3:Farmaci utilizzati 3 mesi dopo il trattamento con Horizontal® Therapy

Farmaci utilizzati dopo 6 mesi su 170 soggetti	**Numero di giorni**	**Numero di pazienti**
Nimesulide	-	34
Piroxicam	-	18
Ketoprofene	-	29
Diclofenac	-	27
Salicilati	-	6

Tabella 5.3.4: Farmaci utilizzati su 170 soggetti 6 mesi dopo il trattamento con Horizontal® Therapy

Farmaci utilizzati dopo 12 mesi su 170 soggetti	**Numero di giorni**	**Numero di pazienti**
Nimesulide	-	46
Piroxicam	-	33
Ketoprofene	-	26

Diclofenac	-	34
Salicilati	-	12

Tabella 5.3.5: Farmaci utilizzati su 170 soggetti 12 mesi dopo il trattamento con Horizontal® Therapy

Considerazioni conclusive. Come si vede, nel breve periodo seguente il trattamento con Horizontal® Therapy l'assunzione di farmaci antinfiammatori non steroidei ed antidolorifici è completamente cessata e tale dato si è mantenuto significativo anche dopo 3 mesi ($p \leq 0{,}001$) e dopo 6 mesi ($p \leq 0{,}05$).

Nella stragrande maggioranza dei casi, 58 su 65, i valori dei parametri presi in considerazione sono cambiati in meglio con una diminuzione visibile(ma non dimostrabile con una misurazione oggettiva) del gonfiore nei soggetti in cui era presente.

Dunque, analizzando i risultati ottenuti nello studio effettuato, si evince che il trattamento con Horizontal® Therapy risulta statisticamente significativo nel breve e medio periodo. L'utilizzo di questa forma di energia fisica risulta quindi importante nella dimensione di impatto terapeutico che il fisiatra deve prevedere nella definizione del percorso riabilitativo dei soggetti affetti da artrosi, in particolare, in questo caso, del ginocchio. [15]

5.4 Valutazione della ripresa funzionale e dell'andamento del dolore in pazienti sottoposti ad intervento di protesi totale di ginocchio e successivi cicli di elettroanalgesia

Il grado di soddisfazione di un paziente dopo un intervento di artroprotesi di ginocchio è essenzialmente correlato alla regressione della sintomatologia algica ed alla ripresa funzionale dell'articolazione. In questo studio, effettuato dalla *Divisione di RRF I*, dalla *Fondazione Salvatore Maugeri Clinica del Lavoro e della Riabilitazione IRCCS* e dall'*Istituto Scientifico di Montescano* sotto la coordinazione della *Cattedra di Medicina Fisica e Riabilitativa dell'Università Tor Vergata di Roma*, è stata analizzata la correlazione tra l'andamento della funzionalità del ginocchio artroprotesizzato, e la sintomatologia dolorosa accusata da pazienti a trattamento specifico riabilitativo associato a terapia fisica antalgica con Horizontal® Therapy o TENS.

Materiali e Metodi. Sono stati selezionati 62 soggetti di età media 69,9 anni (minimo 60- massimo 75 anni), 40 femmine e 22 maschi sottoposti ad intervento di protesi totale di ginocchio per gonartrosi. Al tempo di 3-4 mesi dall'intervento, ogni paziente è stato sottoposto a valutazione isocinetica della flesso-estensione del ginocchio.

Dopo i 3 mesi di intervento i pazienti venivano sottoposti a 15 sedute di elettroterapia antalgica (Horizontal® Therapy o TENS scelte ad random) associate ad un ciclo di terapia di rieducazione motoria. Inoltre a 3-4 mesi dall'intervento veniva richiesto al paziente di compilare un questionario riguardante il grado di soddisfazione dopo l'intervento secondo le linee dell'IKS (International Knee Societing Rating System), associato alla scala di valutazione del dolore VAS.

Risultati. I risultati ottenuti possono essere riassunti come segue.

In base alla scala IKS

Dolore	**A 3 mesi n° Pazienti**	**30 Pazienti TENS a 4 mesi**	**32 Pazienti HT a 4 mesi**
a) Nessuno	4	2	5
b) Lieve o occasionale	8	5	9
c) Solo facendo le scale	5	3	5
d) Camminando e facendo le scale	4	2	2
e) Moderato	10	6	3
f) Occasionale	8	4	4
g) Continuo	20	8	4
h) Grave	3	0	0
Articolarità			
90°	62	30	32
Funzionalità cammino			
a) Illimitato	3	1	4
b) Più di 1000m	12	10	14
c) 500-1000m	20	10	10
d) Meno di 500m	25	8	4
e) Confinato in casa	2	1	0
f) Impossibile	0	0	0
Scale			
a) Normale salita e discesa	8	10	15
b) Normale salita, discesa con il corrimano	17	12	10
c) Salita e discesa con il corrimano	32	8	7
d) Impossibile	5	0	0

Tabella 5.4.1:Valutazione del grado di soddisfazione a 4 mesi dall'intervento di PTG riprendendo alcuni Items dell'IKS

In base alla scala analogica del dolore VAS i risultati sono stati i seguenti

	A 3 mesi **n° Pazienti**	**30 Pazienti** **TENS a 4 mesi**	**32 Pazienti** **HT a 4 mesi**
Scala di VAS	36,6	25,4	12,4

Tabella 5.4.2: Risultati della valutazione in base alla scala analogica del dolore

Discussione dei risultati rilevati. I dati più salienti che emergono dall'analisi dei risultati sono i seguenti:

1) per quanto riguarda il recupero della forza del quadricipite e degli ischio tbiali, valutato con metodica isocinetica, si nota un netto miglioramento che raggiunge una significatività statistica maggiore nei pazienti trattati con Horizontal® Therapy rispetto a quelli trattati con TENS;

2) la variazione del dolore, dopo l'esecuzione del ciclo combinato analgesico-rieducativo è stata valutata con i dati di tipo qualitativo desunti dalla scala IKS e con quelli di tipo quantitativo ottenuti dalla scala VAS. Per quanto riguarda la scala IKS, i dati più significativi sono rappresentati dalla riduzione della categoria "dolore continuo":

- dal 32% al 28% nei casi trattati con TENS;
- dal 32% al 12% nei casi trattati con Horizontal® Therapy;

e dalla riduzione della categoria "cammino per meno di 500m":

- dal 40% al 28% nei casi trattati con TENS;
- dal 40% al 12% nei casi trattati con Horizontal® Therapy.

Questi dati sembrano evidenziare maggiore efficacia, nel controllo del dolore tardivo post-intervento di protesizzazione di ginocchio, dell' Horizontal® Therapy rispetto alle TENS. Analoga considerazione può essere proposta basandosi sui dati quantitativi della VAS che evidenziano valori percentuali

medi del 36% prima del trattamento, che si riducono al 25,4% dopo il trattamento con TENS e al 12,4 dopo trattamento con Horizontal® Therapy. [16]

5.5 L'Horizontal® Therapy nel trattamento del dolore lombare da frattura osteoporotica recente

La frattura vertebrale osteoporotica è legata alla dislocazione successiva delle faccette articolari e ad uno squilibrio muscolare che si può manifestare anche in sedi anatomiche lontane dal rachide

Lo studio presentato, effettuato dalla *Cattedra di Medicina Fisica e Riabilitativa dell'Università "G. D'Annunzio di Chieti"* e dal *CUMS dell' dell'Università "G. D'Annunzio" di Chieti* in collaborazione con la *Divisione di Riabilitazione Osteoarticolare dell'Università di Verona, Valeggio sul Mincio*, ha lo scopo di analizzare il trattamento di questo caso clinico con Horizontal® Therapy (HT), paragonandola, in doppio cieco, con una corrente analgesica classica come l'Interferenziale (INT) e con Placebo (PL) di Horizontal® Therapy.

Materiali e Metodi. Sono stati selezionati 200 soggetti, tutti di sesso femminile ed età media di 70,3 anni (min 50-max 86anni), così suddivisi: 60 hanno seguito un trattamento con HT e ginnastica medica, 70 un trattamento con INT e ginnastica medica, e 70 con placebo di HT e ginnastica medica.

La valutazione è stata effettuata prima del trattamento (T_0) e a scadenze successive: alla fine dei 10 giorni di trattamento (T_1), ad un mese (T_2) ed a 3 mesi (T_3) dalla fine dello stesso.

Sono state utilizzate:

- la scala analogica del dolore (VAS) da 0 (assenza di dolore) a 10 (massimo dolore);
- la scala Backill per la disabilità da dolore lombare modificata, con un punteggio che va da un massimo di 44 ad un minimo di 9.

Il trattamento è stato effettuato, in doppio cieco, con le seguenti modalità:

- HT: 10 sedute da 30' ciascuna in zona lombare con il programma "dolore cronico" (frequenza da 100 a 4400Hz) con tre elettrodi; l'intensità di corrente è stata mantenuta al livello della soglia di percezione;
- INT: 10 sedute di 20' ciascuna in zona lombare con programma dolore e contrattura (200Hz) protocollo 4 elettrodi sotto la soglia di percezione;
- Placebo: stesso protocollo di HT, intensità della corrente mantenuta a 0.

Risultati. I risultati ottenuti possono essere schematizzati nelle seguenti tabelle.

Secondo la scala analogica del dolore VAS si ha:

	Gruppo HT	**Gruppo INT**	**Gruppo PL**
$\mathbf{T_0}$	8,6	8,6	8,5
$\mathbf{T_1}$	6,25	6,5	6,2
$\mathbf{T_2}$	4,96	5,3	6,2
$\mathbf{T_3}$	3,8	4,77	6,5

Tabella 5.5.1: Risultati valutati secondo la scala analogica del dolore VAS

La valutazione con la scala Backill ha dato i seguenti risultati

	Gruppo HT	**Gruppo INT**	**Gruppo PL**
T_0	23,6	23,3	23
T_1	26,1	25,7	24,8
T_2	28,2	27,9	25,3
T_3	31	28,8	25

Tabella 5.5.2: Risultati valutati secondo la scala Backill

Discussione e Conclusioni. Dai dati rilevati va osservato che:

1. il decremento del dolore con trattamento di Horizontal® Therapy mostra significatività costante nel confronto tra tutti i tempi T_0, T_1, T_2, T_3, così come l'incremento dei valori della scala Backill;
2. il trattamento con Horizontal® Therapy mostra una significatività nei confronti del trattamento con correnti Interferenziali ai tempi T_2 e T_3, per l'andamento sia del dolore che della scala Backill;
3. il trattamento con Horizontal® Therapy mostra una significatività nei confronti del trattamento con Horizontal® Therapy Placebo ai tempi T_2 e T_3, per l'andamento sia del dolore che della scala Backill;
4. il trattamento con correnti Interferenziali mostra una significatività nei confronti del trattamento con Horizontal® Therapy Placebo ai tempi T_2 e T_3, per l'andamento sia del dolore che della scala Backill; in questo caso va però osservato come la significatività sia meno eclatante di quella ottenuta dall' Horizontal® Therapy rispetto al Placebo.

In conclusione, i risultati dello studio policentrico effettuato dimostrano che il trattamento con Horizontal® Therapy è assolutamente da indicare nella gestione del dolore per frattura recente rachidea, anche nei confronti delle più usate correnti Interferenziali, in quanto Horizontal® Therapy si dimostra più adatta nella riduzione del dolore e nell'incremento della capacità funzionale nel medio periodo, ovvero a 3 mesi dal termine del trattamento. [17]

5.6 Analisi e valutazione dei dati raccolti

Gli studi riportati nei paragrafi precedenti dimostrano, attraverso i risultati delle sperimentazioni effettuate, la maggiore efficacia terapeutica dell'Horizontal® Therapy rispetto ad alcune forme di elettroterapia tradizionale nel trattamento a breve e medio termine della sintomatologia algica dovuta, rispettivamente, ad una patologia osteoarticolare (la gonartrosi), ai postumi di un intervento di protesizzazione al ginocchio, e, infine, ad un trauma di origine osteoporotica.

I risultati sono stati valutati sia con dei metodi oggettivi (la riduzione dell'assunzione di farmaci, scale di valutazione quantitativa), sia attraverso la percezione del dolore soggettiva di ogni paziente (mediante l'uso di scale di valutazione qualitativa).

Particolarmente interessante, dal nostro punto di vista, è il confronto tra Horizontal® Therapy e, rispettivamente, TENS e Correnti Interferenziali.

Attualmente la TENS risulta essere la terapia elettrica più largamente diffusa nell'ambito delle strutture che erogano servizi di terapia fisica strumentale, e ciò è principalmente dovuto al basso costo, alla maneggevolezza degli apparecchi ed al loro semplice utilizzo (spesso sono usati anche in ambito domiciliare), ma anche alla scarsa discriminazione patologica, ovvero al fatto che viene utilizzata quasi per tutte le patologie muscolo-scheletriche.

In realtà, dall'analisi effettuata sulle tecniche tradizionali di elettroterapia, si può osservare che per tutte le terapie mancano precise e specifiche indicazioni cliniche riguardanti le correnti da utilizzare. Spesso la particolare patologia viene trattata con diverse tipologie di elettroterapia, con l'obiettivo di curare i sintomi dei dolori a varia eziologia. Inoltre esistono molti criteri di classificazione delle correnti, non sempre coerenti tra loro, che rendono difficile l'individuazione della giusta terapia per il paziente. È utile

sottolineare che le diverse tipologie di correnti sono più di cento e vengono classificate in base alla frequenza, alla forma d'onda, agli effetti fisiologici etc.

Per questo motivo, nel capitolo 2 abbiamo ritenuto opportuno proporre una classificazione ottenuta incrociando le varie catalogazioni reperibili. Per rispondere all'esigenza di maggiore chiarezza, si è proceduto ad un confronto tra le classificazioni delle correnti terapeutiche disponibili su alcuni manuali di terapia fisica. Individuate le caratteristiche comuni e fatte le dovute integrazioni, siamo arrivati ad una classificazione basata sui criteri della frequenza di utilizzo e degli effetti terapeutici.

La presenza di una così grande varietà di forme di terapia elettrica non è un aspetto totalmente negativo; da una parte, tale caratteristica si può addurre al fatto che, a prescindere dai diversi parametri fisici che distinguono le varie forme di elettroterapia, si tratta sempre di correnti che sono in grado di eccitare le cellule ed i tessuti e di provocare, quindi, quegli effetti (aumento del trofismo muscolare, attivazione del metabolismo…) che favoriscono la riduzione della sintomatologia dolorosa. Da un punto di vista strettamente clinico, questo è un enorme patrimonio che va continuamente ampliato ed integrato con le nuove conoscenze e le nuove tecnologie: utilizzare correttamente l'elettroterapia vuol dire conoscere bene le forme d'onda che si hanno a disposizione, ma tutte queste informazioni vanno organizzate e gestite in maniera più razionale, in modo da fornire al medico gli strumenti necessari per stabilire il percorso di cura più appropriato per il paziente.

Invece, da un punto di vista strettamente organizzativo, ci sono delle ridondanze che non possono essere sottovalutate. Come detto, esistono più di un centinaio di correnti, molte delle quali utilizzate per le stesse applicazioni, e questo è probabilmente anche il motivo per cui non esistono ancora dei protocolli terapeutici ben precisi relativi a questo tipo di trattamenti.

Sarebbe, perciò, necessario rivedere ogni classificazione e ridefinire ogni criterio di valutazione, magari partendo anche da zero, per poter abbattere le ridondanze e razionalizzare i percorsi terapeutici.

L' Horizontal® Therapy sembra dare una risposta alla problematica messa in evidenza.

Innanzitutto, essa si basa su di una nuova e molto stringata classificazione delle correnti: quelle con effetti biochimici e quelle con effetti bioelettrici; ad entrambe le categorie sono poi associati determinati effetti terapeutici. Questa rappresenta già una notevole semplificazione: da più di un centinaio di correnti variamente definite a due sole, ben distinte, categorie.

In più, grazie alla tecnologia utilizzata, l' Horizontal® Therapy consente di indurre contemporaneamente entrambi gli effetti citati. L'elettroterapia tradizionale sfrutta un meccanismo per cui, variando proporzionalmente intensità e frequenza, si riescono ad ottenere differenti effetti: a basse frequenze si creano nelle cellule dei potenziali d'azione, con conseguente effetto di stimolazione; a frequenza relativamente più alte si inducono nelle cellule effetti biochimici di scuotimento ma non di stimolazione. Per poter ottenere effettivamente tali prestazioni è necessario definire correttamente, per ogni forma d'onda, gli opportuni valori di intensità, frequenza e durata tali da produrre un effetto piuttosto che l'altro. Ma fare ciò con l'elettroterapia tradizionale non è semplice, per le problematiche suddette.

L' Horizontal® Therapy sfrutta invece un meccanismo d'azione per cui, mantenendo costante l'intensità e variando la frequenza all'interno di un range di valori medi, è possibile allo stesso tempo eccitare le cellule sia bioelettricamente che biochimicamente, aumentando così l'efficacia della terapia e riducendone i tempi.

Questo aspetto consente di semplificare molto la definizione della terapia da prescrivere al paziente, ma, allo stesso tempo permette anche di dare una risposta all'esigenza di maggiore discriminazione patologica attraverso l'uso

di correnti caratterizzate da parametri geometrici precisi, in grado di intervenire contro patologie e dolori specifici, distinguendo correttamente i vari tessuti con l'uso di programmi diversi.

L'efficacia clinica di questa tecnologia, in concomitanza con la terapia farmacologia e con la rieducazione motoria, è stata dimostrata, almeno in relazione a tre specifiche applicazioni, attraverso le sperimentazioni oggetto degli studi riportati nel presente lavoro. Lasciando ai medici competenti le opportune valutazioni, da un punto di vista ingegneristico si può prendere atto del positivo riscontro organizzativo e gestionale, oltre che scientifico e terapeutico, dell' Horizontal® Therapy nel trattamento delle patologie muscolo-scheletriche.

Si può fare, poi, un'ulteriore considerazione.

Si è visto, nel capitolo precedente, che gli apparecchi che supportano l'Horizontal® Therapy offrono la possibilità di lavorare con programmi preimpostati, in cui sono già contenute tutte le indicazioni (in termini di parametri fisici delle correnti) necessarie per il trattamento delle più comuni patologie muscolo-scheletriche.

Questa caratteristica, ben lungi dal voler sostituire la competenza del medico specialista nel definire le terapia specifica per ogni paziente, consente una più semplice ma, allo stesso tempo, precisa e completa gestione del trattamento. All'operatore, partendo dalle indicazioni del medico, basterà infatti selezionare il programma relativo alla patologia da trattare, posizionare gli elettrodi seguendo le indicazioni presenti sulle tavole del manuale d'uso e regolare l'intensità della corrente in base alla sensazione percepita dal paziente.

Tali programmi, pur essendo predefiniti, non perdono tuttavia di vista la specificità dei singoli casi che si presentano al fisioterapista. Infatti, la possibilità di regolare l'intensità di corrente in base alla sensazione percepita dal paziente (formicolio lieve o intenso, contrazione anche visibile dei tessuti)

consente al sistema di adattarsi alle caratteristiche peculiari del soggetto, mentre l'effetto terapeutico dipende dai criteri di modulazione della frequenza, già memorizzati nel programma.

Con tale caratteristica si potrebbe sopperire, almeno in parte, alla mancanza di protocolli terapeutici specifici e dettagliati, apportando una maggiore uniformità nella definizione dei trattamenti; uniformità che ancora manca, ma che consentirebbe una più oculata gestione, non solo sanitaria, ma anche economica dei meccanismi di riabilitazione strumentale, almeno per quel che riguarda l'elettroterapia.

Il termine *uniformità* non va travisato: esso si riferisce alla possibilità di dare dei punti di riferimento precisi per poter definire i vari programmi riabilitativi, rientrando in un sistema di erogazione dei servizi caratterizzato da un controllo di gestione ottimizzato dall'uso della nuova tecnologia, senza prescindere, tuttavia, da un certo grado di eterogeneità necessario per venire incontro alle esigenze specifiche del singolo paziente.

5.6 Conclusioni

Analizzando i dati elaborati, confrontando lo studio relativo all'elettroterapia tradizionale con l' Horizontal® Therapy, si è giunti alle seguenti conclusioni:

1. l' Horizontal® Therapy, basandosi su di una chiara classificazione delle correnti, consente di venire a capo della grandissima e confusa varietà di forme di terapia elettrica esistenti, variamente definite e non tutte ben conosciute;
2. alle due classi di correnti individuate corrispondono determinati effetti terapeutici distinti, esclusivamente, in base alle frequenze di utilizzo;

3. rispetto alle correnti tradizionali, caratterizzate da una scarsa capacità di discriminazione patologica, l' Horizontal® Therapy presenta una precisa definizione dei parametri geometrici, che consente di definire trattamenti specifici per le varie patologie e i diversi tipi di tessuto;
4. le caratteristiche precedenti permettono di individuare nuovi parametri guida nella definizione dei percorsi terapeutici, fornendo al medico specialista gli strumenti adatti a predisporre, per ogni paziente, la terapia più appropriata;
5. la razionalizzazione dei concetti che riguardano l'elettroterapia può migliorare l'impatto organizzativo e gestionale della riabilitazione strumentale, almeno per quel che riguarda la terapia elettrica;
6. la presenza di programmi terapeutici distinti per patologie già preimpostati nelle apparecchiature che supportano l' Horizontal® Therapy consente di sopperire, almeno in parte, alla mancanza di protocolli per l'applicazione dell'elettroterapia alla riabilitazione delle patologie muscolo-scheletriche;
7. i suddetti programmi, pur essendo predefiniti, non perdono di vista la specificità dei singoli casi, prevedendo un sistema di regolazione dell'intensità di corrente in base alla sensazione percepita dal paziente, mentre l'effetto terapeutico è affidato alla variazione di frequenza;
8. la presenza di tali programmi non deve sostituire la competenza del medico specialista, bensì deve fornire nuovi e più precisi punti di riferimento nella gestione del trattamento;
9. le apparecchiature che supportano l' Horizontal® Therapy sono semplici da utilizzare: basta posizionare gli elettrodi come indicato sulle tavole d'uso e selezionare i programmi seguendo le indicazioni mediche. Ciò consente, tra l'altro, di ridurre i tempi delle sedute;
10. l'efficacia terapeutica dell' Horizontal® Therapy è stata dimostrata da studi sperimentali in varie applicazioni. In particolare, ne è stata

affermata la maggiore efficacia rispetto alla più diffuse TENS e correnti interferenziali nel trattamento a breve e medio termine del dolore dovuto, rispettivamente, ad una patologia osteoarticolare (la gonartrosi), ai postumi di un intervento di protesizzazione al ginocchio, e, infine, ad un trauma di origine osteoporotica.

11. In conclusione del lavoro effettuato riteniamo che l' Horizontal® Therapy rappresenti una svolta fondamentale nel settore dell'elettroterapia. La sua applicazione nella riabilitazione delle patologie muscolo-scheletriche, grazie alla tecnologia utilizzata ed alla semplicità di utilizzo, può portare a dei risvolti positivi da un punto di vista sia clinico-terapeutico che economico-gestionale.

Bibliografia

1. Bollettino Ufficiale della Regione Campania n. 22 del 03 maggio 2004: "Linee Guida per le attività di Riabilitazione in Regione Campania"
2. Silbernagl, A. Despopoulos: "Fisiologia" Casa Editrice Ambrosiana
3. Appunti del corso di Elettronica Biomedica, Prof. Marcello Bracale
4. G. Gigante, G. Severini: "Terapia fisica strumentale" Edi Ermes
5. Manuale d'uso per elettroterapia, Elettronica Pagani SRL
6. "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)", Mark Johnson
7. Toshihiro Morinaga M.S. R.P.T Professor Kyoto University: "Applicazioni cliniche delle TENS", College of allied medical science
8. D. Fiandesio: "Massoterapia, manuale per operatori sanitari" UTET
9. G.N. Valobra: "Trattato di Medicina Fisica e Riabilitazione" UTET
10. C. Aurilio, Istituto di Anestesia, Analgesia, Riabilitazione, Terapia Intensiva e Medicina Iperbarica, "N. Cocchia": "La stimolazione elettrica transcutanea", -La terapia del dolore con mezzi fisici- Atti del corso di aggiornamento tenuto al XVI Congresso Nazionale AISD.
11. Appunti del corso di "Bioingegneria" cdl in Scienze motorie, Università Parthenope, Ing. R. Tranfaglia

12. R. Merletti, M. Knaflitz, G. Borio, M. Bracale, F. Clemente, R. Castaldo: "Apparecchiature per terapia fisica, riabilitazione e recupero funzionale", Acmagest
13. Manuale d'uso "Pro ElecDT 2000"
14. R. Carniel, R. Saggini "Revisione critica dell'uso dell'elettroterapia"
15. R. Saggini, R. Carniel, V.Coco, F. Cancelli, M. Ianieri, D. Maccanti: "La gonartrosi: il trattamento con terapia Horizontal® Therapy. Studio multicentrico", Europa MedicoPhysica Settembre 2004
16. G. Chiappano, G. Felicetti, E. Brignoli, T. Sciarpa, M. Maini, A. Giustini: "Valutazione della ripresa funzionale e dell'andamento del dolore in pazienti sottoposti ad intervento di protesi totale di ginocchio e successivi cicli di elettroanalgesia" Europa MedicoPhysica Dicembre 2005
17. A. Zambito, B. Bianchini, S. Adami, R.G. Bellomo, A. Saggini, R. Carniel, R. Saggini: " L' Horizontal® Therapy nel trattamento del dolore lombare da frattura vertebrale osteoporotica recente" Europa MedicoPhysica Dicembre 2005
18. Intelect Manuale utente, Chattanooga Group
19. Wallace L. : "New prospectives in rehabilitation and preventative health care services: MENS Therapy". Lyndhurst.
20. Gersh M.R., Woolf SL: "Application of transcutaneous electrical nerve stimulation in the management of patients with pain". Physical Therapy

21. Nanano K et al : “Effect of Percutaneous Electrical Stimulation on Osteoarthritis of Knee Joint”, Rehabilitation Medicine.
22. Leo, Rizzolatti: “Bioingegneria della riabilitazione”, Patron
23. “Modeling the excitation of fibers under surface electrodes” , Frank Rattay
24. DPCM 29/11/2001: “Definizione dei Livelli Essenziali di Assistenza”
25. LEA Regione Campania
26. Gazzetta Ufficiale del 30/05/98: “Linee Guida del Ministro della Sanità per le attività di Riabilitazione”

Siti Internet di riferimento

28. www.medicinariabilitativa.it
29. www.actionfit.com
30. www.ieeexplore.org
31. www.unconventionalmedicine.it
32. www.ricercaitaliana.it
33. www.fisionline.it
34. www.healthcentersonline.com
35. www.hakomed.com
36. www.webmedical.consulnet.com

37. www.epicentro.iss.it

38. www.infoleges.it

39. www.minervamedica.it